26.343. 4
А 43

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА И БОЛОТ

В.И. Суворов
Ю.Н. Женихов
В.В. Панов
К.И. Лопатин
В.И. Толстограй
И.А. Юсупов

Тверь
2012

Министерство образования и науки Российской Федерации

Восточно-Европейский институт торфяного дела
Тверского государственного технического университета
(Инсторф ТвГТУ)

Сибирский научно-исследовательский и проектный институт
рационального природопользования (СибНИПИРП)

**В.И. Суворов, Ю.Н. Женихов, В.В. Панов,
К.И. Лопатин, В.И. Толстограй, И.А. Юсупов**

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА И БОЛОТ

Тверь
2012

УДК 504.062:662.31.33
ББК 33.35
С89

Рецензенты:
Б.Ф. Зюзин, проф. Тверского государственного технического университета, доктор технических наук
А.В. Михайлов, проф. Санкт-Петербургского горного университета, доктор технических наук

С89 **Суворов, В.И.** Актуальные вопросы использования торфа и болот [Текст]: монография / Ю.Н. Женихов, В.В. Панов, К.И. Лопатин, В.И. Толстограй, И.А. Юсупов. – Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2012. – 152 с.; ил.

ISBN 978-5-94789-517-9

В монографии рассмотрены проблемы рационального и экологически сбалансированного использования торфяных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа по ряду приоритетных направлений: малая энергетика, получение новых материалов на основе торфа, охрана окружающей среды.

С учетом природных особенностей ХМАО-Югры дано обоснование технологии всесезонной добычи торфа и его переработки в цеховых условиях с использованием в качестве теплоносителя попутного газа. Приведены результаты экспериментальной проверки нового способа рекультивации и восстановления нефтезагрязненных болот с использованием засыпок на основе подсушенного модифицированного торфа. Дано обоснование новой всесезонной технологии очистки бытовых сточных вод малых населенных пунктов (вахтовых поселков) с населением до 1 тыс. человек с использованием осушенных участков торфяных залежей.

Книга предназначена для широкого круга специалистов, занимающихся проблемами управления природными ресурсами, их охраной и рациональным использованием, для инженерно-технических работников предприятий-природопользователей, проектных организаций, административно-управленческих структур, инвестиционных фондов, предпринимателей, а также может быть полезна для аспирантов, студентов и научных сотрудников, изучающих вопросы рационального природопользования и торфопользования.

ББК 33.35

Научная библиотека Югорского государственного университета НЗ -22625-
1-ПП 1-ЧЗ ЭК

© Коллектив авторов, 2012
© Оформление ООО «Издательство «Триада», 2012

ISBN 978-5-94789-517-9

ПОСВЯЩЕНИЕ

Путь свободной личности, сострадающей и помогающей людям даже в ущерб «требованиям власти», – это путь свободного знания, самостояния и ответственности, путь к познанию жизни на собственном опыте, за собственный счет, без перекладывания на кого-либо своих обязанностей перед жизнью, без страха боли и страданий.

По нашему мнению, эта фраза А.В. Дронова очень точно передает основные черты характера Валерия Ивановича Толстограя – доброту, ответственность и независимость.

Валерий Иванович Толстограй 1946–2010 гг.

На 64-м году из жизни ушел Валерий Иванович Толстограй. Эта книга – дань светлой памяти инженера и человека, посвятившего себя рациональному использованию торфяных болот ХМАО-Югры.

С глубоким уважением к памяти нашего друга, соратника и человека

Владимир Иванович Суворов,
Юрий Николаевич Женихов,
Владимир Владимирович Панов,
Константин Иванович Лопатин,
Ирек Азатович Юсупов

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние два десятилетия торфяная промышленность России претерпела катастрофические изменения, приведшие к разрушению промышленной, технологической и социально-экономической инфраструктуры отрасли, закрытию большинства торфопредприятий, перепрофилированию торфяного машиностроения, изменению уклада жизни работников торфодобывающей отрасли, перестройке проектных и научно-исследовательских организаций. В результате резко сократилась добыча торфа, номенклатура продукции на его основе, остались невостребованными многочисленные научные и практические разработки. Прекратился выпуск торфяных машин и оборудования. Брошенные поля добычи торфа стали источниками экологических проблем. Все это проходило на фоне не масштабного, но устойчивого развития торфяной отрасли в Канаде, Финляндии, Германии, Голландии, Ирландии, США, Беларуси и др.

С конца XXI века в России ситуация стала достаточно устойчиво меняться. Бизнес-структуры и государственная власть проявили внимание к торфяным ресурсам в связи с их доступностью, широким распространением и ликвидностью торфяной продукции за рубежом и в России, а также инвестиционно привлекательным инновационным разработкам ученых и специалистов торфяного дела.

Технологическое обеспечение производства коммунально-бытового топлива (КБТ), продукции агропромышленного и природоохранного назначения выстраивается по различным схемам в зависимости от того, какой техникой и оборудованием располагает данное производство и на что оно ориентировано (кусковой торф, брикет, пеллеты, питательные грунты, удобрения, сорбенты и т. п.). Последние инновации в технологиях добычи и производства торфяной продукции дают новые решения проблемы загрузки отечественного машиностроения, существенного снижения капитальных затрат на закупку зарубежной техники. Другой характерной особенностью этих инноваций является всесезонность добычи торфяного сырья и круглогодичное производство продукции в виде формованного, прессованного или россыпного торфа. Такие технологии уже сегодня внедряются на ряде предприятий в Тверской области, ХМАО-Югре и предлагаются для других регионов РФ.

При этом сохраняются характерные для России проблемы. Например, как и 90 лет назад, одна из основных причин сдерживания развития энергетики на основе торфа – это монополия угольных, нефтяных и газовых компаний и практика государственного субсидирования долгосрочных договоров на поставку этих видов топлива в России. В результате

потребители почти не влияют на качество предоставляемых услуг. Так, в муниципальных образованиях страны работают порядка 70 тыс. котельных, структура топливопотребления которых ориентирована в основном на дорогостоящие и неэкологичные виды топлива, являющиеся ценным химическим сырьем: уголь и мазут. Роль в топливном балансе торфа исчезающе мала.

1. ПОЛУЧЕНИЕ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ТОРФА

1.1. Особенности инноваций в торфяной отрасли

При формировании нового уклада развития промышленного производства регионов РФ существенно должна возрастать роль и значимость местных сырьевых ресурсов, в частности торфа, сапропеля.

Такой мощный сырьевой потенциал, многообразие приоритетных направлений использования продукции на его основе, обширный спектр новых наукоемких технологий по их переработке, значительный научно-технический потенциал призваны выполнить локомотивную функцию, обеспечивающую значительный рост промышленного производства регионов и их устойчивое и интенсивное развитие.

Среди местных органосодержащих сырьевых ресурсов следует выделить торфяные и сапропелевые, лесные и вторичные материальные ресурсы: отходы дерево- и льнопереработки, лесозаготовки, синтетических полимерных изделий, нефтяные шламы, угольную крошку, макулатуру и т. п.

Инновации являются базовой основой роста промышленного производства, повышения его эффективности, социально-экономической и экологической значимости, снижения энергоемкости, поскольку фундаментом для них является мощный интеллектуальный и научный потенциал, накопленный за последние десятилетия сообществом ученых и специалистов России.

Важным объектом инновационной активности становятся местные природно-сырьевые ресурсы и целый спектр широкомасштабных отходов различных производств. Последние, в силу ряда объективных причин, уже сегодня следует рассматривать не как нагрузку на окружающую природную среду, а как ценные вторичные материальные ресурсы.

Однако положение дел в сфере инновационной деятельности нельзя признать удовлетворительным: многие регионы являются зависимыми от импорта по огромному количеству и разнообразию ввозимых видов технологий, продукции, энергоносителей, в то время как экспортные возможности в значительной степени ограничены поставками сырьевых компонентов и полуфабрикатов. Наукоемкий сектор, малые формы бизнеса в области переработки местных природно-сырьевых ресурсов остаются крайне незначительными. Отсюда возникают хроническая технологическая отсталость, нереализованные экономические выгоды, усиливаются затратные составляющие в производственной сфере, не снижается социальная и экологическая напряженность, остаются невостребованными многочисленные научно-технические и технологические разработки. Происходит утечка научных кадров и катастрофическое старение материально-технической базы.

Формирование благоприятной инновационно-инвестиционной среды в регионах должно опираться на четко выверенную и скоординированную политику административных, производственных и инвестиционных структур всех уровней. Проведение такой политики должно дать ясные ориентиры устойчивого экономического развития, ответы на вопросы: каким путем будет двигаться регион, станет ли он сырьевым придатком или займет достойное место в ряду растущих региональных экономик.

Известно, что такой подход потребует реализации ряда принципиальных положений, связанных:

- с выбором наиболее оптимальных и дешевых путей достижения цели;
- созданием рынка сбереженных ресурсов;
- использованием цен на ресурсы, отражающих нарушение экосистемных функций (часто более ценных, чем получаемая продукция);
- стимулированием монетаризации конкуренции по сравнению с другими выборами;
- поощрением желательного экономического поведения и установлением налогов на нежелательное.

Все эти и другие принципы актуальны и полностью применимы к любому региону, касаются ли они нефтяных, лесных, водных, торфяных, сапропелевых и других ресурсов, торфяно-болотных экосистем, разнообразных природных ландшафтов, памятников историко-культурного наследия, рекреационных территорий, уникальных геологических объектов.

Вряд ли экологизация стиля жизни возможна лишь за счет рыночных механизмов; здесь обязательным должно быть государственное регулирование рынка с «подталкиванием» его к решению задач сохранения окружающей среды.

В 1972 г. на конференции ООН в г. Стокгольме были сформулированы принципы экоразвития или устойчивого (допустимого) развития:

- человек имеет право на благоприятные условия жизни в окружающей среде;
- природные ресурсы и особенно репрезентативные образцы естественных экосистем должны быть сохранены на благо нынешнего и будущих поколений;
- должна поддерживаться способность природы воспроизводить жизненно важные ресурсы;
- человек несет полную ответственность за сохранение и разумное управление продуктами живой природы и ее среды, что должно быть положено в основу планирования экономического развития;
- невосполнимые ресурсы должны использоваться так, чтобы обеспечить их защиту от истощения в будущем.

В качестве положительного примера можно привести прогресс энергосбережения, достигнутый в США. За последние два десятилетия за счет энергосбережения «получено» в 4 раза больше энергии, чем путем ее прямого производства, а третья часть произведенной энергии получена за счет возобновляемых источников.

В свете этого становится очевидной роль и особая значимость ресурсных потенциалов во всем их многообразии и с учетом доступности, технологичности и экономической эффективности.

Разработки отечественных ученых, в частности Инсторфа ТвГТУ, уже сегодня могут быть использованы и внедрены на многих предприятиях различных регионов страны. С учетом особенностей районирования ресурсов, промышленного, рыночного, экологического, трудового и других потенциалов важной составляющей научно-технической политики становятся базовые приоритетные направления, к которым следует отнести:

- теплоэнергетику;
- строительную индустрию;
- охрану окружающей среды;
- агропромышленный комплекс;
- глубокую переработку торфа и сапропеля.

На рис. 1 показаны лишь некоторые виды продукции, полученные только за последние годы на основе торфа, сапропеля и ряда отходов производств.

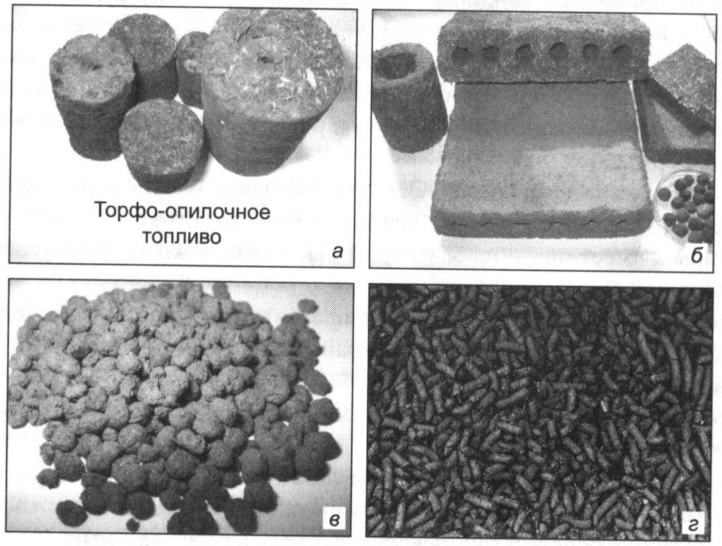

Рис. 1. Перспективные виды продукции на основе торфа:
а – КБТ; *б* – влагоустойчивая паро-гидроизоляция; *в* – сорбент; *г* – мелиорант

Рассмотрим некоторые особенности, характеризующие указанные приоритетные направления.

1.2. Малая теплоэнергетика

Непрерывный рост цен на традиционные теплоэнергоносители (нефть, газ, уголь) весьма болезненно сказывается на крупных производителях тепловой и электрической энергии, а следовательно и на потребителях. Но еще более остро эта проблема стоит перед малой теплоэнергетикой, которая рассредоточена преимущественно в малых городах, сельских поселениях большинства регионов страны. Сегодня в РФ насчитывается около 70 тыс. малых и удаленных муниципальных котельных, а основная часть их работает на привозном мазуте и угле.

Ценовая политика крупных монополий, ряда посреднических структур приводит к росту бюджетных затрат различного уровня на закупку и транспортировку ископаемых теплоэнергоносителей, повышению цен на товары и услуги, продаваемую тепловую и электрическую энергию. Легко формируется коррупционная составляющая. Потребитель стоит в конце этой цепочки и, в конечном счете, оплачивает эти расходы.

По-видимому, по этой причине в 2009 г. Президент РФ поручил правительству представить предложения по расширению использования малых генерирующих установок и других возможностей малой энергетики с учетом практики их применения и внедрения в субъектах РФ.

В 2009 г. в соответствии с решением расширенного заседания комитета по энергетике ГД РФ и по согласованию с Минэнерго РФ в рамках Программы развития малой энергетики принято решение о подготовке и реализации пилотных проектов по возведению малых энергетических установок, диверсифицированных по видам используемого топлива.

Подкомитет по малой энергетике Комитета по энергетике ГД РФ предлагает в качестве пилотного проекта осуществить подготовку и реализацию проектов по возведению малых генерирующих установок, функционирующих на основе торфа.

Более детально вопросы развития торфяной промышленности России рассмотрены на совещании в Минэнерго. В частности, в стратегических целях развития этой отрасли в РФ выделяются следующие позиции:

- повышение региональной энергетической безопасности за счет оптимизации территориальной структуры производства и потребления энергетических ресурсов в энергодефицитных и отдаленных регионах;

- снижение энергоемкости внутреннего валового продукта РФ, реализация потенциала энергосбережения и энергоэффективности российской экономики;
- формирование регионального топливно-энергетического баланса с учетом местных видов топлива;
- стимулирование развития инновационной составляющей ТЭК РФ;
- снижение потребности регионов и муниципалитетов в субсидиях за счет увеличения поступлений налогов и сборов в доходную часть бюджетов всех уровней от деятельности торфяной промышленности, увеличения занятости населения за счет создания новых рабочих мест, снижение себестоимости производимой энергии в энергодефицитных и отдаленных регионах;
- снижение экологической нагрузки на окружающую среду и климат путем сокращения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов за счет замещения торфом традиционных видов топлива в энергетическом балансе, повышение качества жизни российских граждан.

Сегодня торфяной отрасли оказалось непросто войти в современную рыночную среду, привлечь инвестиционный капитал и системных заказчиков на продукцию. Есть ли выход из этой ситуации, каковы решения назревших и острых проблем?

Они разнообразны и многоплановы, но в своей основе сводятся к нескольким крупным блокам:

- *правовой*, обеспечивающий статус торфяных ресурсов на федеральном уровне, механизмы правового обеспечения новых наукоемких технологий добычи и переработки торфа, развитие отрасли в рамках Федеральной целевой программы и координацию с региональными целевыми программами;
- *экономический*, обеспечивающий налоговое стимулирование инвестиционной политики, долевое субсидирование процентных ставок по привлекаемым инвесторами банковским кредитам, тарифное стимулирование деятельности предприятий отрасли, использование схем лизинга;
- *социальный*, способствующий привлечению незанятого трудоспособного населения в товаропроизводящий сектор экономики, решению проблем монопоселений брошенных или законсервированных добывающих торф предприятий, стимулирования, подготовки и привлечения инженерных кадров для торфяной отрасли;
- *экологический*, обеспечивающий безусловные преимущества использования торфа в теплоэнергетике, как по составу, так и объему

выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, стимулирующий неистощительное недропользование, планомерное восстановление болотообразовательных процессов на отработанных месторождениях.

Как уже отмечалось, малая теплоэнергетика России ориентирована на использование дальнепривозных ископаемых видов топлива. Внешние поставки таких энергоносителей во многие регионы приводят к ряду негативных моментов:

- зависимости потребителей топлива от диктата цен на энергоносители;
- отсутствию побудительных мотивов для развития производства топлива из местных топливно-энергетических ресурсов и отходов производств для внутреннего рынка потребления;
- оттоку профессиональных кадров из добывающе-перерабатывающих производств в другие сферы деятельности;
- формированию разомкнутых финансовых потоков и снижению налогооблагаемой базы муниципальных образований.

Рассмотрим сегодняшнее состояние малой теплоэнергетики на примере Тверской области и Ханты-Мансийского автономного округа, которые имеют существенные отличия по структуре топливного баланса, объемам потребления топлива, географическим и климатическим особенностям.

1.3. Малая теплоэнергетика Тверской области

В 36 районах области установлено на котельных (всех форм собственности) порядка 2710 котлов, суммарная мощность которых составляет 5590 Гкал/час.

Годовое потребление топлива оценивается следующим образом:

- природный газ ~ 650 млн $м^3$;
- мазут ~ 112 тыс. т;
- печное топливо ~ 20 тыс. т;
- каменный уголь ~ 140 тыс. т;
- дрова технологические ~ 135 тыс. $м^3$.

Структура топливного баланса в сопоставимом виде представлена в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Структура топливного баланса малой теплоэнергетики Тверской области

Вид топлива	Объем потребления	Топливный эквивалент	Объем потребления, в т у. т. (условное топливо)
Природный газ, тыс. м^3	65 000	1,14	741 000
Мазут, тыс. т	112	1,35	151 200
Печное топливо, тыс. т	20	1,43	28 600
Каменный уголь, тыс. т	140	0,75	105 000
Дрова технологические, тыс. м^3	135 (68 тыс. т)	0,286	19 500
			Итого: 1 045 300

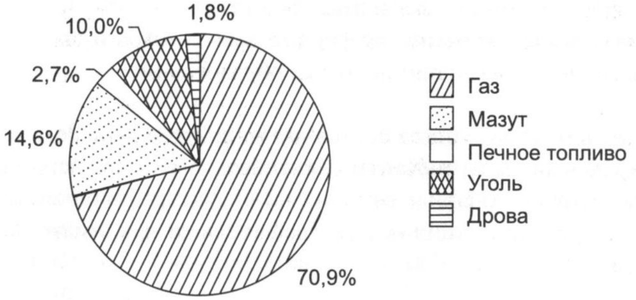

Рис. 2. Соотношение энергоносителей в топливном балансе Тверской области

Исходя из уровня сложившихся цен на эти виды топлива (газ – 2400 руб./1000 м^3; мазут – 10 000 руб./т; печное топливо – 16 000 руб./т; уголь – 3000 руб./т; дрова – 500 руб./м^3) и общих объемов их закупки, затраты оцениваются примерно в 3,0–3,2 млрд рублей (рис. 3)[1].

Из анализа этих данных следует, что основная доля (по объему и затратам) приходится на газ, мазут и уголь. В балансе малой теплоэнергетики доля местных сырьевых ресурсов (дрова) крайне незначительна, а торфяные ресурсы вообще отсутствуют. Затраты на закупку привозных видов топлива становятся весьма значительными и играют роль пресса для бюджетов всех уровней.

Все это позволяет сделать вывод о том, что в области сформировался дефицит местного КБТ, который является устойчивым и усиливающимся. Поэтому задачи поэтапного перевода объектов малой теплоэнергетики

[1] За период подготовки этой работы цены на топливо продолжали стабильно расти.

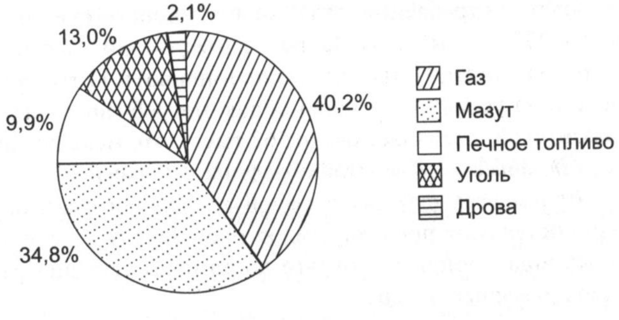

Рис. 3. Структура затрат на закупку топлива

на местные энергоносители становятся своевременными и актуальными. Для их решения, безусловно, требуется новый технологический уклад, базирующийся на последних научных и научно-технических разработках ученых и специалистов, работающих в сфере торфяного бизнеса. Последнее обстоятельство крайне важно, поскольку непрофессиональный подход к вопросам добычи и переработки торфа приводит к дискредитации всей технологии в целом, негативному восприятию конечных результатов инвесторами, потребителями, административными органами управления и др.

1.4. Малая теплоэнергетика ХМАО-Югры

Если для ряда регионов Центрально-Европейской части РФ структура топливного баланса малой теплоэнергетики во многом схожа с Тверской областью, то было бы весьма полезно проанализировать ситуацию в одном из крупнейших нефтедобывающих регионов страны – ХМАО-Югре.

Общее количество только котельных в 14 муниципальных образованиях составляло на начало 2010 г. 490 ед., на которых установлено 1982 котла, общая мощность которых достигает ~9020 Гкал/ч.

На природном и попутном газе работают 353 котельные (72%), жидком топливе (нефть, печное) – 62 котельные (13%), твердом топливе: уголь – 39 котельных (8%), дрова, щепа – 24 котельные (5%) и электроэнергии – 12 котельных (~250).

Кроме того, в муниципальных образованиях выработкой тепловой энергии занимаются ведомственные котельные (72 ед.), частные (9 ед.) и бесхозные (2 ед.), которые используют в качестве основного вида топлива газ, уголь, нефть, электроэнергию, древесину, печное топливо.

Общий объем потребления этих видов топлива оценивается ориентировочно в 377 млн м^3 (газ), 42 тыс. т (нефть), 34–37 тыс. т (уголь), 20 тыс. м^3 (дрова и щепа), 19 тыс. т (печное топливо) и 11 тыс. т (бензины).

В пересчете на условное топливо общее потребление всех видов теплоэнергоносителей составляет около 562 тыс. т, что меньше аналогичного показателя по объектам Тверской области в 1,85 раза.

Общие затраты всех субъектов малой теплоэнергетики округа ориентировочно составляют порядка 2 млрд руб. Наряду с использованием традиционных видов топлива в округе достаточно успешно развивается производство древесных пеллет.

По данным начальника отдела энергосбережения Департамента ЖКХ ХМАО-Югры Макарова С.В., опыт использования пеллет показал их преимущества перед дровами и углем. При закупочной цене у производителя «СургутМебель» в 1700 руб./т стоимость такого топлива франко-склад котельной составила 3100 руб./т (Кондинский район).

К 2012 г. планируется перевести до 70 котельных на пеллетное топливо, а это потребует производства до 50 тыс. т топлива в год только для муниципальных котельных. С учетом других потребителей объем производства может быть увеличен до 100 тыс. т в год.

Отметим, что такая инновационная технология позволяет утилизировать отходы деревопереработки, сокращать вырубку лесов для заготовки дров, решать местные социально-экологические проблемы (новые рабочие места, отчисления в местные бюджеты всех уровней, снижение объемов выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, сокращение закупок ископаемых видов топлива за пределами округа и т. д.).

Несмотря на сравнительно небольшую долю твердотопливных котельных в общем балансе малой энергетики, использование местных топливно-энергетических ресурсов остается актуальным и значимым.

В этом плане представляется весьма перспективным использование торфяных ресурсов (наряду с отходами деревопереработки) в технологиях производства коммунально-бытового топлива в виде мелкокускового торфа и (или) торфяных пеллет.

Такие технологии разработаны СибНИПИРП (г. Нижневартовск) и Тверским государственным техническим университетом и его подразделением – Инсторфом.

Новизна найденных решений (в привязке к условиям ХМАО-Югры) защищена патентом РФ.

Таким образом, и в этом регионе РФ формируется перспективная ситуация вовлечения местных топливно-энергетических ресурсов в активный хозяйственный оборот.

Отсюда возникает и особый интерес развития торфяного производства в ХМАО-Югре.

1.5. Особенности торфопользования в ХМАО-Югре[2]

Будучи главным нефтедобывающим регионом России, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра является крупнейшим регионом на территории Западно-Сибирской равнины, характерной особенностью которого является заболоченность значительных площадей. В торфяных болотах округа благодаря благоприятным условиям торфонакопления аккумулировано более 300 млрд м^3 торфа, что составляет 25% российских и до 10% мировых запасов торфа.

Интенсивное развитие нефтяной промышленности, обладающей значительной землеемкостью, происходит в основном на заболоченных территориях в ущерб торфяным ресурсам региона. Законодательные акты РФ однозначно требуют реализации на практике принципа платного природопользования. В связи с этим застройка торфяных месторождений должна сопровождаться компенсацией ущерба от безвозвратной потери торфяных ресурсов либо их извлечением для вторичного использования.

Из-за отсутствия в РФ (и в мире) других территорий, на которых бы так интенсивно застраивались торфяные болота, в последние годы по заказам различных департаментов округа выполнен достаточно большой объем научно-исследовательских, предпроектных и проектных работ, направленных на сохранение и рациональное использование торфяных ресурсов:

- «Эколого-экономическая оценка торфяных ресурсов ХМАО-Югры», 2002 г.;
- «Анализ воздействия объектов нефтедобычи на компоненты окружающей среды в различных условиях ландшафта с целью оптимизации их размещения», 2003 г.;
- «Временная методика эколого-экономической оценки торфяных месторождений ХМАО-Югры при их застройке», 2004 г.;
- «Природоохранные требования к размещению, строительству и эксплуатации нефтепромысловых объектов на территории ХМАО-Югры», 2004 г.;
- «Инвентаризация торфяного фонда ХМАО-Югры с учетом промышленной и селитебной застройки торфяных месторождений», 2006 г.;

2 По неопубликованным материалам В.И. Толстограя.

- «Методические указания по проектированию технологии получения воздушно-сухого торфа из отвалов торфяного сырья в условиях Среднего Приобья», 2005 г.;
- «Методические рекомендации по разработке и содержанию предпроектной, проектной и иной документации по добыче и использованию торфа, представляемой на государственную экологическую экспертизу», 2006 г.;
- ТУ 0391-019-31094064-2001 «Торф для рекультивации нарушенных земель», 2002 г;
- «Технология восстановления нефтезагрязненных поверхностей торфяных болот», 2006 г;
- Отчет по НИР «Использование торфяных болот для очистки сточных вод малых населенных пунктов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры с числом жителей до 1000 человек», Тверь, 2007;
- Обоснование инвестиций «Очистные сооружения бытовых сточных вод жилого поселка Тайлаковского нефтяного месторождения ХМАО-Югры с использованием подготовленной площадки на участке торфяного болота», Нижневартовск, 2008.

Однако на практике даже в минимальном объеме ни один документ так и не реализован. Поэтому вывод очевиден: отношение в округе к этому уникальному природному ресурсу пока не соответствует государственной природно-ресурсной политике. Рассмотрим отдельные аспекты торфопользования в ХМАО-Югре.

Застройка торфяных месторождений нефтепромысловыми объектами. Территориальное совмещение нефтяных месторождений с торфяными месторождениями является основной причиной существующих системных проблем региональной системы рационального природопользования в округе. При этом нарушаются требования действующего законодательства Российской Федерации: об условиях и порядке застройки площадей залегания полезных ископаемых и по рациональному использованию, и охране недр от истощения и загрязнения:

- ст.10, 20, 28–29, 37 Градостроительного кодекса РФ;
- ст. 27 Земельного кодекса РФ;
- ст. 99 Водного кодекса РФ;
- ст. 22, 23, 25 Закона РФ «О недрах»;
- ст. 34–40, 77 Закона РФ «Об охране окружающей природной среды».

Статья 25 Закона РФ «О недрах» и ст. 4 Положения Ростехнадзора «О порядке выдачи разрешений на застройку площадей залегания полезных ископаемых», позволяют производить застройку площадей залегания

месторождений полезных ископаемых (МПИ) только при условии возможности их извлечения или доказанности экономической целесообразности застройки МПИ. В соответствии со ст. 21 этого Положения, разрешение на застройку требуется не только для разведанных запасов полезных ископаемых (ПИ), но и прогнозных ресурсов.

Под экономической целесообразностью понимается принципиальная возможность застройки при условии компенсации государству (в случае с общераспространенными полезными ископаемыми – субъекту Федерации) всесторонней стоимости списываемых запасов ПИ.

В округе за 40 лет интенсивного развития нефтяной отрасли застроено более 200 тыс. га торфяных месторождений в промышленных границах. Безвозвратные прямые потери запасов и ресурсов торфа оцениваются в 3 млрд м^3 торфа естественной влажности. Однако и сегодня ежегодно застраиваются тысячи гектаров торфяных залежей в промышленных границах, и округ не получает никакой компенсации за безвозвратные потери запасов торфа. При этом анализ лицензионных участков для добычи нефти, территориально совмещенных с нефтяными месторождениями, показывает, что 25–30% земель таких участков – это суходолы, заболоченные земли или мелкозалежные окраины торфяных болот, более пригодные для застройки с минимальными потерями ресурсов.

Добыча и использование торфа. Обустройство нефтяных месторождений в округе происходит в основном на заболоченных территориях, требующих строительства искусственных песчаных насыпей, на поверхности которых, в свою очередь, требуется создание поверхностно-растительного слоя почвы. Очевидно, что на территории, не обладающей запасами плодородной земли, имеющей тысячи гектаров нарушенных земель, нет альтернативы торфу как основе для приготовления питательных грунтов и органоминеральных смесей для восстановления поверхностного почвенно-растительного слоя нарушенных земель.

Песок является непригодным субстратом для биологической рекультивации, и поэтому необходимо создание рекультивационного слоя почвы. Рекультивационный слой – специально создаваемый на техническом этапе рекультивации слой почвы с благоприятными для биологической рекультивации условиями должен соответствовать требованиям действующих государственных стандартов:

- ГОСТ 17.4.02-83 «Номенклатура показателей пригодности нарушенного плодородного слоя для землевания»;
- ГОСТ 17.5.1.03-86 «Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации»;
- ГОСТ 17.5.3.05-84 (о соответствии свойствам плодородного или потенциально-плодородного слоя почвы).

Научная библиотека
Югорского государственного
университета
НЗ — 22625 —

В округе для экологических нужд ежегодно добывается примерно 2–3 млн м³ торфяного сырья, что составляет примерно 25% от ежегодной добычи торфа в России, и по этому показателю округ также занимает первое место.

Однако практически вся добыча и использование этого полезного ископаемого ведется с нарушениями существующей нормативно-методической базы по разведке, разработке и использованию торфа. Участки торфяной залежи для разработки выбираются по уведомительному принципу без учета требований нормативно-методической базы, предъявляемых к разработке торфяных месторождений или их участков. При этом получают необходимые согласования и лицензию для добычи торфа на участки площадью 2–3 га. В проектах на разработку таких «карьеров торфа» отсутствуют разделы по подготовке торфа до необходимых кондиций, позволяющих его эффективно использовать[3].

Анализ существующей в округе практики добычи и использования торфяного сырья повышенной влажности для экологических нужд показывает, что эффективность его практически нулевая, а в иных случаях и отрицательная (причиненный ущерб от добычи торфяного сырья выше по сравнению с ценностью его природоохранных функций). Такая негативная практика наносит значительный ущерб торфяным ресурсам и дискредитирует возможности этого уникального полезного ископаемого.

Характерной особенностью торфа в естественном залегании является чрезвычайно высокая влажность. Этим признаком торф резко отличается от всех видов твердых полезных ископаемых. Добыча торфа является технологическим процессом, связанным с обезвоживанием (сушкой) торфяного сырья, т. е. приемами концентрирования действующего вещества в единице объема или массы.

Технологии добычи торфа могут быть различными, но конечной целью любой технологии является получение кондиционного или часто *воздушно-сухого торфа*, который может использоваться для любых целей. Нормативных документов (ГОСТы, ТУ) на торфяное сырье нет, как и на продукцию нефтяных скважин. Проектирование любых производств, в том числе и добывающих, должно предполагать выпуск продукции, сертифицированной на территории РФ (соответствующей ГОСТам или ТУ).

Основные нормативные документы в торфяной отрасли, на основании которых выполняются проекты разработки торфяных месторождений или их участков:

- ВНТП-19-86 «Нормы технологического проектирования предприятий по добыче торфа» МИНТОППРОМ РСФСР, 1986 г.;

[3] Извлечение торфа-сырца из залежи экскаваторным способом *не является добычей торфа с заданными кондициями.*

- ГОСТ 21123-83 «Торф. Термины и определения»;
- ГОСТ 4.105-83 «Торф и продукты его переработки. Номенклатура показателей»;
- Технические условия на различные виды продукции из торфа, сертифицированные на территории РФ.

В нормативных документах на торфяную продукцию основным показателем является эксплуатационная влага продукции, при которой торф обладает теми качественными характеристиками, которые необходимы для его эффективного использования (для топлива – 33–51%, для растениеводства – 50–55%, для экологических нужд – 60%).

Объективным фактором экстенсивного и неэффективного использования этого природного ресурса являются климатические условия территории округа, не позволяющие получать нормативные кондиции торфа существующими в мире традиционными технологиями полевой сушки. Обезвоживание торфа – затратный технологический процесс, требующий приложения значительного количества энергии (солнечной, механической и т. д.). Так, например, для получения 1 т воздушно-сухого торфа (ω = 60%) необходимо добыть 4 т торфяного сырья (ω = 90%) и при этом удалить 3 т воды.

Нормы технологического проектирования предприятий по добыче торфа (ВНТП 19-86) предусматривают возможность добычи торфа традиционными технологиями полевой сушки (севернее 58° с. ш.), однако опыт по их реализации в климатических условиях ХМАО-Югры (Сургут, Нижневартовск) показывает, что для промышленного производства торфяной продукции это невозможно.

«Попутный» торф, возникающий при строительстве объектов на заболоченных территориях. При строительстве различных объектов на заболоченных территориях округа образуется большое количество «попутного» торфяного сырья, извлекаемого экскаваторным способом из торфяных залежей.

Использование «попутного» торфа как вторичного сырья для экологических целей является одним из направлений рационального пользования недрами, что отвечает требованиям Закона РФ «О недрах» (ст. 23), поэтому решение вопросов о его использовании для экологических нужд территории соответствует государственной природно-ресурсной политике. Однако на территории округа он является «бесхозным» и нигде и никем не учитывается. Подрядчики, занимающиеся этим видом строительных работ без лицензии на добычу торфа, считают его своей собственностью, реализовывают его (частным лицам и муниципальным властям), не подозревая, что торгуют собственностью государства.

Подготовленный проект закона «О порядке извлечения и использования торфа при размещении объектов капитального строительства и подземных сооружений на территории ХМАО-Югры» даже не дошел до рассмотрения Думой округа. Аналогом при разработке этого закона являлся Федеральный закон «О порядке снятия, складирования и использования плодородного слоя почвы», который регулирует при проведении различных строительных работ порядок снятия, складирования и передачи властям для дальнейшего использования плодородного слоя почвы.

Определить количество ежегодно образующегося «попутного» торфа невозможно, однако если организовать его учет, складирование и передачу местным властям, на территории которых он возникает, то, по оценкам экспертов, количества «попутного» торфа будет достаточно для производства торфяной продукции для благоустройства и озеленения населенных пунктов, с использованием современных технологий.

Юридическое закрепление собственника «попутного» торфа и его вторичное использование для экологических нужд территории, по мнению экспертов, позволило бы существенно сократить (либо вообще отменить) выдачу лицензий на разработку «карьеров торфа», при наличии отвалов «попутного» торфяного сырья.

Восстановление нефтезагрязненных торфяных болот. Согласно статистике, 90% аварийных разливов нефти происходит на торфяных болотах. Применяющиеся сегодня в округе методы[4] рекультивации нефтезагрязненных поверхностей торфяных болот должны быть запрещены на основании ст. 3 ФЗ РФ «Об охране окружающей среды, так как такие загрязнения *приводят к деградации естественных экологических систем, изменению и уничтожению генетического фонда растений, истощению природных ресурсов и иным негативным изменениям окружающей среды.*

Основной метод рекультивации, предложенный авторами этого нормативного документа ХМАО-Югры – фрезерование переувлажненной торфяной залежи, который приводит к разрушению торфогенного (деятельного) слоя и тем самым, вероятно, нарушает выполнение экологических функций торфяных болот, таких как поглощение атмосферного углекислого газа и продуцирование кислорода. К сожалению, специальных исследований на фрезерованных после нефтяного загрязнения торфяных залежах по газообмену не выполнялось.

Возврат торфяно-болотной экосистемы в естественное для нее состояние означает восстановление болотной растительности, и только в этом

[4] На основании «Рекультивация нефтезагрязненных земель Ханты-Мансийского автономного округа (практические рекомендации)».

случае торфяное болото снова начинает выполнять функции регулятора состава атмосферы и гидросферы, геохимического барьера на пути загрязняющих веществ и др.

Отметим, что использование торфа-сырца повышенной влажности для экологических нужд (рекультивация нарушенных земель и озеленение территорий) характеризуется крайне низкой эффективностью, а стоимость таких работ на территории округа завышается в 2–3 раза.

В постановлении Правительства РФ «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации» № 240 от 15 апреля 2002 г. аварийные разливы нефти классифицируются как чрезвычайные ситуации и ликвидируются в соответствии с законодательством РФ. Для выполнения этих требований необходимы новые подходы к ликвидации аварийных разливов нефти, разработка и внедрение технологий рекультивации нефтезагрязненных участков торфяных болот, которые выполнялись бы одновременно с ликвидацией аварий, тем самым минимизируя ущерб окружающей среды, при этом не нарушая законодательных актов РФ.

Такая технология разработана и даже получила грант губернатора ХМАО-Югры в 2008 г., однако ее реализация сдерживалась по ряду причин, продиктованных необходимостью:

- получение достаточно больших объемов воздушно-сухого торфа в заводских условиях производства;
- административная поддержка реализации пилотного проекта новой технологии рекультивации;
- привлечение инвестиционных средств.

1.6. Рынок торфяной продукции в округе

Торфяная промышленность всегда имела статус местной промышленности[5], поскольку для этого существуют объективные причины:

- широкое распространение торфяных месторождений в большинстве регионов РФ;
- невысокая стоимость и доступность торфяного сырья;
- сезонность потребления торфяной продукции;
- невысокая плотность многих видов торфяной продукции, удорожающая транспортные затраты на ее доставку к потребителю, особенно на дальние расстояния.

[5] В отдельные периоды истории торф играл стратегическую роль как основной теплоэнергетический ресурс страны – например, после гражданской и Великой Отечественной войн.

Объемы производства торфяной продукции (кроме высокотехнологичной) обычно рассчитываются с учетом региональных потребностей, и в лучшем случае, с учетом потребностей сопредельных территорий.

Идентичность технологий, сырьевых баз, оборудования для переработки торфа позволяет осуществлять переналадку производств для увеличения объемов выпуска планируемых видов продукции, расширения их номенклатуры, которые могут представлять интерес для потребителей.

Однако сегодня на территорию автономного округа поставляется из других регионов в основном торфяная продукция для растениеводства в мелкоштучной упаковке (2–3 л), причем в достаточно больших объемах. Это обстоятельство подтверждает тот факт, что, добывая значительные объемы торфяного сырья, округ не производит собственной продукции из торфа, востребованной населением.

Промышленное производство на территории округа питательных грунтов и торфо-минеральных смесей в крупнотоннажной упаковке для экологических нужд нефтяных компаний и муниципальных образований закроет существующую потребность в этой продукции, повысит эффективность природоохранных работ и при этом сократит расходы, выделяемые на экологические цели. Эта же продукция в мелкоштучной упаковке сможет закрыть существующие потребности для местного населения.

Для коммунальных нужд ЖКХ и сельского населения в округ ежегодно завозится из других регионов до 37 тыс. т каменного угля, а также ежегодно для этих же целей используется около 60,0 тыс. $м^3$ дров.

Использование привозных углей приводит к дополнительной нагрузке на местные бюджеты и необходимости направлять финансовые потоки за пределы региона, не развивая при этом собственного производства коммунально-бытового топлива на основе торфа. Отметим, что практически во всех странах, имеющих торфяные ресурсы, торф используется в качестве коммунально-бытового и энергетического топлива, из-за его дешевизны и доступности, экологических преимуществ по сравнению с традиционными.

Производство местного топлива из торфяного сырья на территории округа должно стать существенной альтернативой традиционным и привозным теплоэнергоносителям, что позволит резко сократить затраты бюджетов на коммунальную теплоэнергетику.

Весьма масштабны и потребности округа в теплоизоляционной продукции различной номенклатуры, которые в основном обеспечиваются поставками из других регионов и по высоким ценам.

Теплоизоляционные материалы имеют небольшую плотность, что значительно увеличивает стоимость их доставки на территорию округа. Транспортные затраты, которые несут строительные организации на их доставку, как правило, превышают стоимость самих материалов в 3–3,5 раза, поэтому в связи с ежегодно увеличивающимися объемами гражданского и промышленного строительства в округе проблема удовлетворения растущего спроса на надежные и дешевые теплоизоляционные материалы становится актуальной. И здесь торф может сыграть важную роль в качестве эффективного, дешевого и доступного материала.

Исследования и разработки, выполненные за последние годы, позволили отработать ряд технологий получения на основе торфа новых строительных материалов теплоизоляционного назначения (гранулы, плиты и т. п.). Сегодня созданы технологии производства теплоизоляций на основе торфа различной типовой принадлежности и степени разложения, позволяющие расширить спектр используемого торфяного сырья за счет использования композиционных наполнителей, способных снизить теплопроводность, плотность при сохранении качества продукции.

1.7. Торфяные ресурсы округа – потенциальная сырьевая база

На территории округа кроме заболоченных земель и болот расположено 2176 торфяных месторождений с площадью в промышленных границах 13 182, 393 тыс. га и запасами 44 971 031 тыс. т торфа, что составляет примерно 25% российских и до 10% мировых запасов торфа. Все эти месторождения имеют государственную регистрацию, кадастровый номер, наименование, нулевую и промышленную границы торфяной залежи, а также утвержденные запасы или оцененные ресурсы торфа (табл. 2).

Всего на территории ХМАО-Югры разведано 3,2% всех имеющихся запасов торфа (промышленной категории), что позволяет добывать этот ресурс в объеме до 0,04%. Остальные ресурсы торфа оценены по прогнозным категориям геологической разведки.

Показатели, приведенные в таблицах, позволяют оценивать абсолютные значения запасов торфа: заторфованность территории в процентах (табл. 3), плотность запасов на единицу площади, удельные запасы, коэффициент удельного веса площади промышленной залежи, как по отдельным районам, так и по ХМАО-Югре в целом.

Таблица 2

Характеристика распределения торфяных месторождений на территории ХМАО-Югры

Административный район	Всего	Статус месторождения				
		Резервные (A + B)	Перспективные для разведки (C1 + C2)	Мелкозалежные	Высокозольные (A > 35%)	С прогнозными запасами (P1 + P2 + P3)
1. Количество месторождений						
Белоярский	21	–	–	–	–	21
Березовский	256	–	–	–	–	256
Кондинский	162	1	–	–	–	161
Нефтеюганский	180	1	3	–	–	176
Нижневартовский	765	4	12	–	–	749
Октябрьский	42	–	12	1	–	29
Советский	89	–	19	–	–	70
Сургутский	412	5	3	–	–	404
Ханты-Мансийский	249	–	3	–	–	246
ВСЕГО:	**2176**	**11**	**52**	**1**	**–**	**2112**
2. Площадь месторождений в нулевых границах, тыс. га						
Белоярский	1126,36	–	–	–	–	1126,36
Березовский	589,53	–	–	–	–	589,53
Кондинский	2703,173	0,443	–	–	–	2702,73
Нефтеюганский	633,977	0,037	72,99	–	–	560,95
Нижневартовский	4125,144	4,344	248,98	–	–	3871,82
Октябрьский	91,739	–	4,39	0,039	–	87,31
Советский	449,85	–	110,32	–	–	339,53
Сургутский	6632,467	2,037	46,14	–	–	6584,29
Ханты-Мансийский	2171,67	–	55,21	–	–	2116,46
ВСЕГО:	**18 523,91**	**6,861**	**538,03**	**0,039**	**–**	**17 978,98**

Окончание табл. 2

Административный район	Всего	Статус месторождения				
		Резервные (A + B)	Перспективные для разведки (C1 + C2)	Мелкозалежные	Высокозольные (A > 35%)	С прогнозными запасами (P1 + P2 + P3)
3. Площадь месторождений в границах промышленной залежи, тыс. га						
Белоярский	781,87	–	–	–		781,87
Березовский	452,66	–	–	–		452,66
Кондинский	2207,888	0,338	–	–		2207,55
Нефтеюганский	549,935	0,025	60,84	–		489,07
Нижневартовский	3019,771	3,351	184,33	–		2832,09
Октябрьский	69,62	–	2,91	0,016		66,71
Советский	365,8	–	88,14	–		277,66
Сургутский	4108,255	1,465	36,15	–		4070,64
Ханты-Мансийский	1683,3	–	42,44	–		1640,86
ВСЕГО:	**13 239,099**	**5,179**	**414,81**	**0,016**		**12 819,11**
4. Ресурсы торфа, млн тонн (ω = 40%)						
Белоярский	1923,83	–	–	–	–	1929,83
Березовский	1777,6	–	–	–	–	1777,57
Кондинский	9067,4	1,23	–	–	0,023	9073,51
Нефтеюганский	2007,5	0,079	275,035	–	–	1732,4
Нижневартовский	8777,5	12,487	635,06	–	4,8	7738,33
Октябрьский	239,6	–	9,82	0,022	0,028	229,81
Советский	1779,2	–	356,46	–	2,78	1422,75
Сургутский	5842,6	4,404	118,63	–	0,67	14 268,88
Ханты-Мансийский	5317,4	–	154,97	–	–	5228,45
ВСЕГО:	**36 738**	**18,002**	**1320,15**	**0,022**	**8,3**	**44 969,69**

Таблица 3

Заторфованность и удельные запасы торфа районов ХМАО-Югры

Административный район	Заторфованность, %	Плотность запасов, тыс. тонн на 1 км² территории	Удельные запасы, тыс. т на 1 га площади торфяного месторождения	Площадь района, тыс. км²
Белоярский	28,44	48,733	246,822	39,6
Березовский	65,28	196,852	392,694	9,03
Кондинский	56,08	188,120	410,682	48,2
Нефтеюганский	28,05	88,827	365,043	22,6
Нижневартовский	34,81	74,072	290,668	118,5
Октябрьский	3,58	9,359	344,154	25,6
Советский	14,65	57,954	486,386	30,7
Сургутский	70,7	62,288	142,216	93,8
Ханты-Мансийский	37,83	92,638	315,891	57,4
Среднее:	**38,0**	**90,983**	**332,729**	
ВСЕГО:				**534,8**

Здесь используется следующая терминология.

Заторфованность территории – отношение общей площади торфяных месторождений в нулевой границе к площади рассматриваемой территории.

Плотность запасов – запасы торфа в тыс. тонн на км² территории.

Заторфованность территории и плотность запасов характеризуют относительную величину запасов ХМАО-Югры и позволяют судить о средней их концентрации в пределах выделенных районов.

Удельные запасы – запасы торфа в тыс. тонн на 1 га площади торфяного месторождения.

Удельные запасы торфа зависят от мощности пласта торфяной залежи и содержания сухого вещества в единице объема, и потому являются комплексным показателем, характеризующим эксплуатационную ценность месторождения.

Коэффициент удельного веса площади промышленной залежи – отношение площади месторождения в границах промышленной глубины к площади в нулевых границах. В среднем по ХМАО-Югре он равен 0,72.

Все показатели довольно значительны, что еще раз подтверждает наличие высокого ресурсного потенциала торфяных месторождений ХМАО-Югры.

ХМАО-Югра обладает самой мощной в стране торфяной ресурсной базой, обеспечивающей выпуск любой продукции на торфяной основе, причем концентрация запасов торфа с различными качественными характеристиками характерна именно на обустроенной территории с развитой инфраструктурой.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Для организации и развития торфяной промышленности в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре необходим комплекс взаимосвязанных мероприятий (законодательных, экономических, организационных, технических, экологических), обеспечивающих условия для сохранения и рационального использования торфяных ресурсов и благоприятных инвестиционных условий для частного бизнеса в этой области.
2. ХМАО-Югра является одним из наиболее крупных потребителей торфяной продукции. В частности, потребителями различных питательных грунтов и торфо-минеральных смесей являются:
   - нефтяные компании для рекультивации нарушенных земель;
   - муниципальные образования для озеленения территорий;
   - местное население для растениеводства.
3. Использование местного сырья (торфа) для производства топлива для коммунальных нужд ЖКХ и сельского населения, теплоизоляционных материалов для строительной индустрии позволит производить конкурентоспособную продукцию, сравнимую по качественным показателям с альтернативной продукцией, завозимой на территорию округа из других регионов.
4. Торфяная промышленность в округе не сформирована, несмотря на высокий уровень добычи и использования торфяного сырья, что приводит к ряду последствий:
   - нарушению законодательно-нормативной базы по разведке, добыче и использованию торфа РФ;
   - неэффективному использованию торфяных ресурсов округа;
   - снижению потенциального дохода бюджета округа.
5. Сырьевая база и существующая транспортная и промышленная инфраструктура округа позволяют в перспективе освоить широкую номенклатуру торфяной продукции (в том числе высокотехнологичной).
6. Отсутствие технологий добычи торфа для климатических условий округа не позволяет частному бизнесу без помощи государства, самостоятельно организовать конкурентоспособные производства торфяной продукции, востребованной в регионе.
7. В округе существуют все предпосылки для организации и развития экономически эффективной торфяной промышленности, ориентированной на круглогодичное производство продукции в цеховых условиях с использованием нефтяного попутного газа, что позволяет решить при этом две важнейшие для округа проблемы: рациональное использование торфяных ресурсов и утилизация нефтяного попутного газа.

1.8. Инновационные технологии в малой теплоэнергетике

Наряду с традиционными и хорошо отработанными технологиями производства КБТ в виде кускового торфа (полевая технология), брикетов и пеллет, получаемых из фрезерного торфа, усиливается практический интерес к новым всесезонным технологиям добычи сырья и производства различных видов торфяного КБТ методом формирования в цеховых условиях. Такой подход позволяет получать кусковое КБТ из торфа, торфа с отходами деревообработки, растениеводства, угольной мелочи, нефтяных шламов, жиров, масел и т. п.

Получаемое топливо отличается стабильными и высокими показателями качества продукции в отличие от кускового торфа, получаемого в полевых технологиях, где эти показатели зависят от видовой принадлежности торфа, степени разложения, осушенности технологических площадок, погодных условий (осадки, солнечная радиация, ветровая нагрузка, температура), конструктивных особенностей машин и т. д.

Безусловно, цеховая технология формования требует принципиально иного подхода к добыче сырья. Суть ее заключается в экскавации торфа с осушенной технологической площадки (карты) на всю глубину залежи болотным экскаватором, погрузкой в транспортные средства и вывозом торфяного сырья на складскую площадку, которая организуется на ближайшем и подготовленном суходольном участке и (или) непосредственно у цеха. Формируется штабель трапецеидального сечения с помощью бульдозера. В процессе хранения торф частично обезвоживается за счет удаления слабосвязанной с торфом влаги через дренаж. Таким образом, достигается оптимальная ($\omega = 78–82\%$) влажность экструзионного формирования в цеховых условиях.

При односменной работе экскаватора ЭО-4221 (МТП-71) объем добычи торфа составит примерно 420 м^3/смену. За один проход экскаватора параллельно картовому каналу формируется карьер шириной до 7 м. Последующий забой экскаватора организуется параллельно существующему. При этом постепенно вырабатывается залежь под временной дорогой, и извлекаются трубчатые мосты-переезды.

Перед формированием отвала торфяной массы в складочную единицу осуществляется отделение пневой (пеньевой) древесины, которое выполняется ковшевой просеивающей дробилкой, прикрепленной к колесному погрузчику. Организованная таким образом складочная единица способна обеспечивать кондиционным сырьем цеховую технологию, а при необходимости осуществлять добычу фрезерного торфа кондиционной влажности (для АПК) с поверхности штабеля.

Достаточно высокая производительность экскаватора позволяет обеспечить выполнение заданной программы добычи торфяного сырья в сжатые сроки. Отсюда следует, что термин «круглогодичная добыча торфа» не означает работу техники в течение всего календарного года, а указывает лишь на всесезонность этого технологического процесса в независимости от погодных условий.

Такой подход позволяет минимизировать затраты на создание полевых производственных баз, более эффективно использовать технику для выполнения других работ технологического цикла (болотно-подготовительные, дорожные, погрузочные и т. п.).

В качестве иллюстрации можно привести пример добычи торфа экскаваторным способом с ежегодным объемом 20 тыс. м^3 (при $\omega = 40\%$) в год на осушенных (открытая сеть каналов) технологических картах стандартных размеров, например 40 × 500 м. При глубине залегания торфа, равной 2 м, и средневзвешенной влажности экскавации 85–86% потребуется всего лишь две технологические карты (4 га). Это существенно сокращает объем работ добычной техники (до 50 дней), улучшает технико-экономические показатели производства.

На рис. 4 представлена технологическая схема производства формованного торфяного КБТ, выполненная применительно к климатическим условиям ХМАО-Югры. Здесь особенно важным этапом является подготовка сырья к последующему формованию.

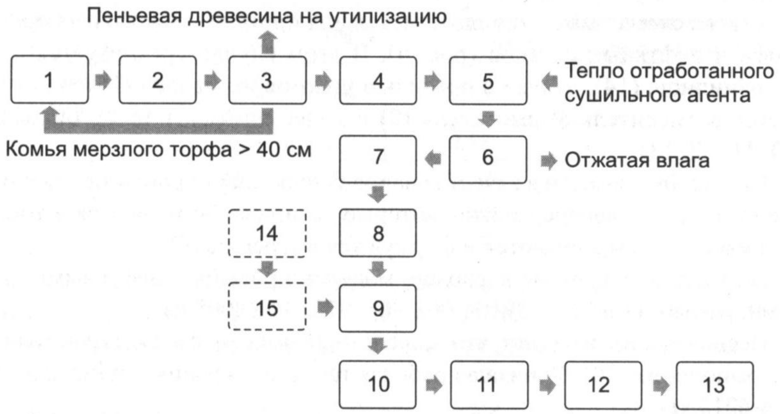

Рис. 4. Технологическая схема цехового производства формованного КБТ на основе торфа; пунктиром показано нефтешламовое отделение цеха

Торф со склада сырья (1) подается погрузчиком на скребковый конвейер (2) и далее поступает на валково-дисковый грохот (3), где отделяются комья мерзлого торфа (> 300…400 мм), древесные, инородные и некон-

диционные включения. Далее торф поступает в валково-зубчатую дробилку (4) и после измельчения (< 20 мм) – на сетчатый транспортер (5), проходящий через камеру тепловой обработки, в которой (в зимний период) происходит плавление льда в мерзлых агрегатах торфа за счет использования тепла отработанного сушильного агента и удаление свободной и конденсированной влаги.

В летний период тепловая камера отключается. Далее торфяная крошка поступает на ленточный фильтр-пресс (6), отжатая вода подается в отстойник для дальнейшей утилизации. Обезвоженный торф поступает в приемный бункер дробилки (7) для разрушения обезвоженного торфяного кека.

Полученная торфяная крошка влагой 79–82% поступает в бункер-дозатор (8), из которого подается в смеситель-формователь (9) для формования кусков диаметром 40–50 мм и выстилки их на полотно многоярусной тоннельной сушилки (10), работающей на попутном газе.

Высушенная кусковая продукция поступает далее на акклиматизацию (11) для выравнивания температуры и влажности, а затем на упаковку в крафт-мешки (12) и складирование (13).

Отметим, что склад сырья представляет собой быстровозводимое и утепленное здание для обеспечения в нем положительных температур (не ниже +5 °C) в зимнее время.

Эта же схема может использоваться для производства КБТ на основе торфа и нефтяных шламов (рис. 4). В этом случае организуется шламохранилище (14), откуда с помощью шламового насоса (15) шлам подается в смеситель-формователь (9) и далее проходит те же операции (10, 11, 12, 13).

При необходимости в качестве наполнителя могут использоваться мягкие отходы деревопереработки, которые дозированно подаются в торфяную массу, перемешиваются и формуются в агрегате (9).

На топливо торфяное кусковое, модифицированное нефтяными шламами, разработаны ТУ 039104-001-96629725-08 (2008 г.).

Исследования показали, что при соотношении торфа и нефтяного шлама компонентов 70 : 30 низшая рабочая теплота сгорания топлива составляет 6217 ккал/кг.

Средние значения выбросов при сжигании рассчитываются согласно «Методике определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или не менее 20 Гкал в час», и с учетом уточнения, изложенного в «Методическом пособии по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух» (табл. 4).

Таблица 4

Выбросы загрязняющих веществ при сжигании различных видов топлива (т/1000 т топлива)

Загрязняющие вещества	Мазут 100	Торф	Торфонефтешлам (50%)	Изменение по сравнению с мазутом, %
Взвешенные вещества (сажа, пыль)	2,54	5,03	3,78	49
NO_x	4,76	0,02	2,39	–50
CO	5,14	15,92	10,52	105
SO_2	39,20	1,70	20,45	–48

Отсюда следует, что при сжигании торфонефтешламового топлива отмечается снижение выбросов NO_x и SO_2 (50 и 48% соответственно) и некоторое повышение по взвешенным веществам (49%) и CO (105%), что не превышает допустимых показателей.

Сжигание этих видов топлива в бытовой печи (без наддува воздуха) дало следующие показатели (табл. 5).

Таблица 5

Выбросы загрязняющих веществ при сжигании топлива в бытовой печи

Загрязняющие вещества	Нефтешлам	Торф	Торфонефтешлам (50%)	Изменение по сравнению с мазутом, %
Взвешенные вещества (сажа, зола)	10,80	0,41	5,15	–52
NO_x	0,50	0,71	0,55	10
CO	92,32	23,18	52,93	–43
SO_2	2,24	0	1,03	–54

Следовательно, в сопоставимых условиях сжигание торфонефтешламового топлива дает превышение только по NO_x (10%), а по остальным выбросам (взвешенные вещества, CO, SO_2) снижение соответственно на 52, 43 и 54%.

Таким образом, по этим показателям такое топливо имеет преимущества по сравнению с топочным мазутом.

1.9. Теплоизоляционные материалы на основе торфа

Необходимость внедрения энергосберегающих технологий в жилищном строительстве все более настойчиво заставляет использовать теплоизоляционные материалы как при строительстве жилья, так и при ремонте жилищно-коммунальных объектов.

Их применение позволяет резко сократить затраты на строительство, существенно снизить непроизводственные расходы тепла, массу зданий, обеспечить экологическую безопасность, создать необходимый комфорт.

Одним из основных массовых теплоизоляционных материалов в настоящее время остаются минераловатные изделия. Производство изделий из пластических масс сдерживается по целому ряду соображений, среди которых следует выделить дефицитность и высокую стоимость исходных сырьевых компонентов, а также ущерб, наносимый окружающей среде и человеку при их производстве. Существующие технологии производства неорганических и синтетических теплоизоляций, как правило, связаны со значительными затратами энергии, использованием металлоемкого оборудования, различных компонентов, привозного сырья.

Однако выпускаемые отечественные утеплители не в полной мере соответствуют нуждам строительного комплекса по качеству, экологичности, долговечности и количеству. Так, например, в 2002 г. при производстве основных утеплителей в 8,6 млн м^3 в Россию было завезено по импорту более 2,2 млн м^3. В результате зарубежные производители не только увеличивают свои поставки, но и строят в России собственные заводы.

Прогнозируемая потребность строительного комплекса только в минераловатных утеплителях составляет 16–18 млн м^3, а на 2010 г. – более 40 млн м^3 (прогнозы Госстроя, АО «Теплопроект», ИТКОР, Эксперта РА).

Однако эта потребность, по заключению большинства экспертов, будет удовлетворена не более чем на половину в связи с реальными возможностями отечественных производителей. Следовательно, развитие строительного комплекса будет сдерживаться дефицитом теплоизоляционных материалов. А при внедрении Госстроем ипотечного кредитования объемы жилищного строительства увеличатся в 1,5–2 раза, что повлечет за собой соответственно еще большее увеличение дефицита утеплителя. Таким образом, в России существует проблема обеспечения строительного комплекса теплоизоляционными материалами, соответствующими мировым стандартам.

Переход к рыночным отношениям, резкий рост цен на сырье, энергию и услуги привел к формированию устойчивого дефицита на экологически безопасные, эффективные и сравнительно дешевые и доступные теплоизоляционные материалы. В определенной степени это вызвало повышенный интерес к нетрадиционным материалам и сырью, некоторым отходам бытового и промышленного происхождения в качестве источников для производства теплоизоляционных материалов.

Отметим, что органические отходы сельскохозяйственного производства и деревопереработки используются преимущественно в качестве местных теплоизоляционных засыпных материалов (табл. 6).

Таблица 6

Свойства местных органических теплоизоляционных материалов

Материал	Плотность, кг/м^3	Теплопроводность, Вт/м К	Предельная температура, К	Область применения
Древесные опилки	150–250	0,058–0,09	333	Термоизоляционные засыпки стен, потолков, полов
Древесная стружка	200–300	0,07–0,116	333	Наполнитель при изготовлении плит и засыпка
Соломенная резка	120–150	0,046–0,058	333	Засыпка, саман
Лузга (подсолнечника, проса, гречихи)	135–150	0,046	333	Материал «Лузгит», засыпка
Рисовая шелуха	150	0,058–0,09	333	Засыпка
Костра	100–200	0,046–0,07	333	Засыпка, костроплита
Мхи	135–150	0,046	333	Засыпка
Рубленый камыш	175–200	0,058–0,07	333	Засыпка, маты
Ситовина	200–250	0,046–0,058	333	Засыпка, изделия
Древесный уголь	140–225	0,056–0,07	313	Засыпка
Торф	150–250	0,058–0,07	373	Засыпка

Особенность использования подобных материалов заключается в том, что они требуют дополнительной антисептической обработки и хорошей гидроизоляции заполняемого объема, так как при намокании таких засыпок возможно их загнивание и резкое повышение теплопроводности. Кроме того, такие засыпки слеживаются, уплотняются и теряют свои теплозащитные свойства.

В значительной мере этих недостатков лишены плитные теплоизоляции на основе таких отходов. Наибольшее распространение получили древесноволокнистые плиты (ДВП, оргалит), которые получают из технологической щепы путем ее измельчения в волокнистую массу, формования и тепловой обработки. Плиты имеют толщину от 3 до 25 мм и размеры 3000 × 1600 мм и подразделяются на мягкие – изоляционные,

полумягкие – изоляционные отделочные, полутвердые и твердые – отделочные.

Древесностружечные (ДСП) и костроплиты (КП) изготавливают путем смешения древесных стружек (костры) со связующим материалом и последующего прессования. В качестве теплоизоляционных используют плиты плотностью до 500 кг/м^3.

К существенному недостатку таких плит следует отнести прежде всего использование синтетических смол (фенолформальдегидных) в качестве связующего материала, которые резко ограничивают область их применения и требуют специальных мер защиты от выделения канцерогенных соединений. Такая проблема зачастую решается путем использования минерального вяжущего (магнезит, цемент, гипс, известь, бишофит и др.) при производстве арболита, фибролита, известкового фибролита, фиброгипсолита. Однако плотность таких изделий достигает 750 кг/м^3, что накладывает ограничения на области их применения. Известны технологии производства теплоизоляций из смеси органических наполнителей и пластмасс. Основные свойства плит приведены в табл. 7.

Таблица 7

Свойства теплоизоляционных плит

Показатели	Ед. измерения	Значения показателей для видов плиты					
		ДВП	ДСП	КП (марка Т)	Арболит, фибролит и др.	Фибробитуминозные фибролиты	Торфяная
Плотность	кг/м^3	150–250	250–400	250–500	300–750	350–500	170–260
Коэф. теплопроводности	Вт/м К	0,046–0,08	0,08–0,104	0,110	0,099–0,267	0,116–0,174	0,060–0,088
Предел прочности при изгибе	МПа	0,4–1,2	До 2,5	0,6	0,3–2,0	0,15–0,3	0,3–0,4
Влажность	%	Не более 12	7–10	8	7–20	–	15
Водопоглощение за 24 часа	%	Не более 30	20–80	до 100	40–60	–	до 360
Предельная температура применения	К	373	373	373	333	333	373

В историческом аспекте при производстве теплоизоляционных плит из торфа использовали две основные технологии: «сухую» и «мокрую». В технологической схеме по первому варианту торф предварительно подсушивали до $\omega \approx 20...30\%$, затем прессовали (при необходимости плиты склеивали в блоки). При «мокром» способе сырье измельчали, подвергали массу варке ($\omega = 94...96\%$) в горячей воде ($t = 50...60$ °C), обработке острым паром, отжимали воду до $\omega = 86...89\%$ (при $P = 0,11...0,19$ МПа), последующей укладке плит на этажерки и сушке до $\omega \approx 6\%$ (при 343...433 К). При необходимости в варочный чан вводили антисептики, парафино-битумную эмульсию, антипирены. При толщине плиты 28...47 мм время сушки составляло 28...30 ч. В качестве сырья для получения плит использовали верховые виды торфа моховой группы (фускум, магелланикум) с R до 10%. Согласно ГОСТ 4861-74, торфяные плиты в зависимости от назначения подразделяются на:

а) водостойкие – содержащие гидрофобизаторы и обладающие повышенной сопротивляемостью водопоглощению;
б) трудносгораемые – содержащие антипирены;
в) биостойкие – содержащие антисептики;
г) комплексные – совмещающие в себе два или три из указанных выше свойств;
д) обыкновенные – изготовленные без добавления каких-либо веществ.

Основные свойства таких плит должны соответствовать нормам (табл. 8).

Таблица 8

Нормируемые показатели теплоизоляционных плит

Показатели	Марка плиты			
	170	200	230	260
Максимальная влажность, %	15	15	15	15
Плотность, кг/м^3	170	171–200	201–230	231–260
Минимальный предел прочности при изгибе, МПа	0,3	0,3	0,4	0,4
Максимальная теплопроводность при 298 К, Вт/м К	0,052	0,058	0,070	0,076

Следует отметить, что сырьевые запасы верхового торфа малой степени разложения имеют достаточно широкие области применения (подстилочный и кипованный торф, плиты сухого прессования для закрытых грунтов, торфяные полые горшочки, торфяные удобрения, сорбенты, фильтры и т. д.). Это обстоятельство следует рассматривать как сдержива-

ющий фактор применения такого торфа для массового масштабного производства теплоизоляционных плит. Кроме того, невысокая механическая прочность, крошимость и гигростойкость в сочетании с высокой водопоглотительной способностью также отрицательно сказываются на развитии производства и ограничивают конкурентоспособность продукции.

Поэтому расширение спектра торфяного сырья для получения новых теплоизоляционных плит и повышение их физико-механических свойств являются ключевыми задачами развития таких производств.

1.10. Плитные теплоизоляционные материалы – «Торфоизол»

На рис. 5 представлена технологическая схема производства композиционных теплоизоляционных плит на основе торфа и торфа с отходами деревопереработки, применительно к условиям добычи торфа экскаваторным способом в ХМАО-Югре. Подготовительное отделение остается неизменным (рис. 4).

Рис. 5. Технологическая схема производства теплоизоляционных плит на основе торфа

Подача мягких отходов деревопереработки производится сразу в бункер-дозатор (7).

Из подготовительного отделения обезвоженная до ~ 80% торфяная масса поступает через бункер-дозатор торфа (1) в смеситель-формователь (2). Кусковые отходы деревопереработки со склада отходов (3) проходят грубый помол в рубильной машине (4) и транспортером (5) подаются в молотковую дробилку (6) и после этого через бункер-дозатор (7) поступают в смеситель-формователь (2). После перемешивания смесь формуется в гранулы диаметром 15–20 мм через мундштуки смесителя-формователя, которые далее поступают на вибропресс (8), в котором формируются плиты, которые укладываются в стеллажи (9) и самотаской (10) подаются в тоннельную сушилку (11), которая работает на попутном газе от теплогенератора (12). После сушки плиты подвергаются акклиматизации (13), упаковке (14) и складированию (15). Выбор варианта схемы зависит от качественных характеристик торфа, наличия стабильных объемов отходов деревообработки.

На торфяную плитную теплоизоляцию разработаны ТУ 039010-002-96629725-08 «Теплоизоляционные торфяные плиты – Торфоизол».

1.11. Гранулированные теплоизоляционные засыпки – «Торфозит»

Поиск, разработка и внедрение новых строительных материалов затрагивает еще одно важное направление – производство легких бетонов, которые представляют собой искусственный камень, предварительно приготовленный из пористого заполнителя, вяжущего и воды.

Легкие или «облегченные» бетоны можно разделить на две группы. К первой относятся бетоны на неорганических заполнителях, ко второй – бетоны на органических заполнителях.

Возможность использования такого природного органического материала, как торф, для получения легкого заполнителя представляет большой научный и практический интерес. По аналогии с легким керамическим заполнителем, называемым «керамзит», принято условное название нового заполнителя торфа – «торфозит».

Эффективность применения торфяных гранул лимитируется прежде всего необходимостью получения прочного, водостойкого заполнителя с хорошими адгезионными свойствами.

Отметим, что вопросы получения торфяных гранул, рецептуры модифицирующих добавок и использование продукции в качестве как заполнителя легких бетонов, так и засыпного теплоизоляционного материала для стен, перегородок и т. п. достаточно подробно рассмотрены в ряде работ. Пример использования различного торфяного сырья представлен в табл. 9.

Таблица 9

Общетехнические показатели торфяного сырья

Вид торфа, индекс	R, %	$\omega_н$, %	A^c, %	Содержание фракций размером < 250 мкм		pH	
				До переработки	После переработки	Водная	КС1
Осоковый (1)	19	80,5	18,0	43,7	87,1	5,9	4,9
Осоковый (2)	20	81,5	4,8	45,9	80,0	6,5	5,02
Фрезерный (2) (ТП «Озерецкое»)	27	54	8,1	56,4	86,1	6,0	5,1
Фрезерный (4) (ТП «Оршинское»)	25	55	10,0–11,0	61,0	75,0 и 81,0	4,0	3,3

Исходный торф перерабатывали на диспергирующем механизме при ω = 75…80%, после чего осуществляли его окатывание в сферические гранулы с начальным диаметром 20...25 ($\times 10^{-3}$) м на тарельчатом грануляторе. Полученные гранулы сушили в одном слое в мягком конвективном режиме при комнатной температуре до равновесной влажности 10...15%, в жестком радиационно-конвективном режиме (под инфракрасными лампами) и конвективном (горячим воздухом). Параметры режимов сушки представлены в табл. 10.

Таблица 10

Параметры сушки гранул

Наименование показателей	Единица измерения	Значения показателей при режиме сушки		
		Радиационно-конвективный	Конвективный	Мягкий
Температура воздуха	°С (К)	32 (305)	70–90 (343–363)	20 (293)
Относительная влажность	%	40	50	50–70
Радиационный поток	м²/час	0,85	–	–
Скорость потока воздуха	м/с	4–5	2–3	0,2
Продолжительность сушки	час	2,5	0,5	144–192
Интенсивность сушки в постоянном режиме	кг/м час	0,4	2	0,01

В ходе сушки контролировали массу и геометрические размеры образцов. Высушенные образцы для повышения водостойкости подвергали модификации в различных режимах.

Для всех серий полученных образцов гранул определяли прочность, плотность, водопоглощение, насыпную плотность, термостойкость, коэффициент формы по стандартным методикам. В табл. 11 представлены кратность и повторность выполненных испытаний.

Таблица 11

Кратность испытаний гранул торфозита

Наименование показателей	Количество образцов, подвергнутых испытаниям	Повторность опытов	Средняя вариация по результатам испытаний, %
Влажность	4	2	0,5
Дисперсность	3	2	0,5
Зольность	1	2	0,5
Кислотность	3	2	0,5
Прочность	6	30–60	40
Водопоглощение	16	3–6	20
Плотность	6	30–60	10
Гидрофобизация	12	3	5
Насыпная плотность	3	3	2

В табл. 12 представлены результаты оценки режима подготовки гранул торфозита по всем вариантам сушки и модификации и предельные значения водопоглотительной способности.

Таблица 12

Режим подготовки гранул и предельное водопоглощение

Индекс торфяного сырья	Режим сушки	Время окатывания, мин	Водопоглощение в % за время, ч	
			1 ч	48 ч
№ 1 (из залежи)	Конвективный	5–7	7/175	78 / 205
№ 3 (из залежи)	–	5–7	8/120	40 / 242
№ 2 (фрезерный)	Мягкий	5	7	32
	–	5	Разрушен.	Разрушен.
№ 4 (фрезерный) $P < 250 = 75\%$	Мягкий	5	70,8/197,1	88,4 / 253,2
	–	9	28,4/118,1	77,5 / 146,6
	Жесткий	5	Разрушен.	Разрушен.
	–	9	Разрушен.	Разрушен.
№ 4 (фрезерный) $P < 250 = 81\%$	Мягкий	5	20,9/194,9	61,9 / разруш.
	Жесткий	5	Разрушен.	Разрушен.

Примечание. Для водопоглощения в числителе гидрофобизированные образцы, в знаменателе – без обработки.

Из анализа данных следует, что водопоглощение гранул можно существенно снизить за счет гидрофобизации высушенных гранул. Обобщенные данные по физико-механическим свойствам торфозита и керамзита сведены в табл. 13.

Таблица 13

Физико-механические свойства гранул торфозита

Индекс торфа	Плотность гранулы, кг/м³	Насыпная плотность, кг/м³	Прочность на раздавливание, МПа	Водопоглощение в % за время, ч		Диаметр гранул, м (×10⁻²)		
				0,5	24	Мин.	Средн.	Макс.
№ 1	620–760	355	2,70	7	72,5	1,15	1,39	1,86
№ 2	480–540	272	1,25	6	45	1,46	1,57	1,95
№ 3	870	450	1,42	7	52	–	–	–
№ 4 $P < 250$ = 75%	600	–	1,24	30,8	88,4	–	–	–
№ 4 $P < 250$ = 81%	700	–	1,93	20,9	61,9	–	–	–
Керамзит	710–870	370–800	1,34	11	20	2,05	2,22	2,56

Как видно, торфозит по своим свойствам сопоставим с керамзитом, а по некоторым показателям превосходит последний.

Специальная обработка, или модифицирование гранул, может быть реализована различными путями:

- введение в исходное торфяное сырье отходов *ЦБК* (типа *СБ* или *СЧ),* опилок, костры и т. п.;
- химическое модифицирование поверхности высушенных гранул добавками ГКЖ-10, *ЛСТ-М* и др.;
- капсулирование гранул неорганическими веществами;
- термическое модифицирование поверхности гранул.

В процессе контактирования с водой прочность гранул торфозита снижается, однако после высыхания такие гранулы вновь восстанавливают свои прочностные свойства (табл. 14).

В процессе поглощения воды гранулы набухают, меняя свои размеры. В табл. 15 на примере гранул торфозита, полученного из торфа № 3, показана кинетика процесса за 24 ч (пятикратная повторность).

Таблица 14

Изменение прочности гранул после намокания

Прочность гранул, МПа			
Начальная	После намокания за 24 ч	После вторичной сушки	После пребывания в цементном растворе 12 ч
1,93	0,5	1,4	2,3

Таблица 15

Изменение массы и диаметра гранул торфозита в процессе водопоглощения

Показатель	Время контакта с водой, ч						
	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	24,0
Изменение массы, %	7,5	10,0	13,2	15,4	24,4	25,7	65,7
Изменение диаметра, %	0,76	1,14	2,08	3,82	4,61	6,49	9,23

Из данных таблицы следует, что поглощение воды происходит в основном за счет заполнения порового пространства торфозита водой.

Изменение размеров гранул может привести к ухудшению физико-механических свойств изделий из легких бетонов с таким заполнителем. Поэтому для снижения или исключения отмеченного эффекта возможны различные способы:

- изменение технологии приготовления изделий из легкого бетона с торфозитом (изменение соотношения компонентов, дозировка воды, способ уплотнения смеси и выдержки в пресс-форме);
- предварительная обработка гранул гидрофобизирующими составами, неорганическими суспензиями;
- выдерживание сухого торфозита в воде перед началом формования торфозитобетона;
- сочетание обработки поверхности и вымачивания гранул и др.

Подбор и экспериментальная проверка различных способов обработки гранул позволили существенно уменьшить впитывание воды и набухание торфозита (табл. 16).

Таблица 16

Водопоглощение и набухание гранул модифицированного торфозита

Вид торфозита	Показатели водопоглощения и набухания в % за время пребывания в воде, ч					
	0,5	1	2	4	6	24
Контроль	175/10,1	181/10,8	185/11,4	190/12,4	195/13,2	209/14,0
Модификация 1	10/1,2	14/1,8	15/2,4	21/3,0	24/4,2	59/6,1
Модификация 2	8,0/0,4	10,2/0,9	11,0/1,2	16/2,5	20/3,2	24/4,4

Примечание. В числителе – водопоглощение, в знаменателе – набухание.

Таким образом, изучение отдельных свойств гранул торфозита позволило сделать вывод о его преимуществах и недостатках в сравнении с керамзитом. Высокая прочность, низкие значения плотности гранул и насыпной плотности, невысокие энергозатраты позволяют прогнозировать эффективность технологии в целом. К недостаткам следует отнести прежде всего сравнительно большую набухаемость гранул в воде, что может привести к образованию дефектов (трещин) в торфозитобетоне. Однако указанный недостаток вполне преодолим за счет различных, доступных способов модификации как на стадии приготовления торфозита, так и при получении торфозитобетонов различного назначения.

Использование торфозита в качестве теплоизоляционных засыпок в этом отношении лишено отмеченных недостатков, выявленных при его использовании в качестве заполнителей легких бетонов.

Технологическая линия производства гранулированного теплоизоляционного материала из торфа представлена на рис. 6.

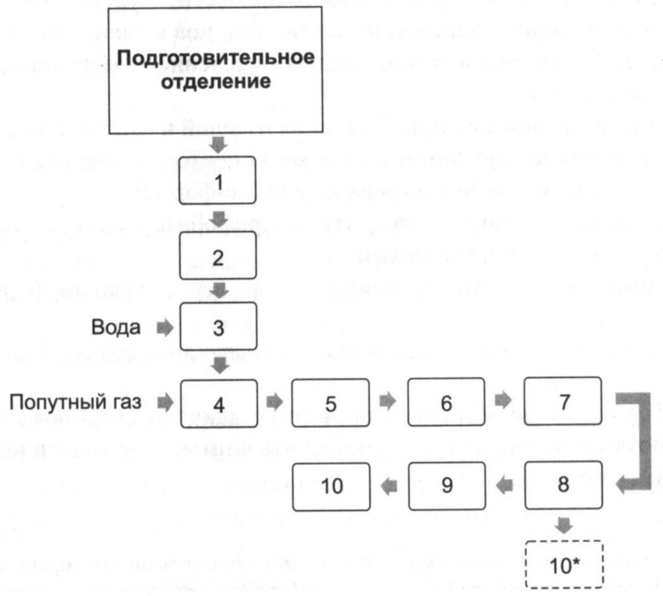

Рис. 6. Технологическая схема производства гранулированных теплоизоляционных засыпок на основе торфа

Пройдя подготовительное отделение, торф влажностью ~80% поступает в бункер-дозатор (1) и далее в смеситель-формователь (2), где формируются цилиндрические гранулы диаметром 15–20 мм, которые далее

подаются на тарельчатый гранулятор (3), куда при необходимости впрыскивается вода. После окатывания гранулы ленточным конвейером (4) подаются в многоярусную тоннельную сушилку (5). Для сушки используется теплогенератор (11), работающий на попутном газе. Высушенные гранулы (ω = 10–12%) поступают на ленточный конвейер (6), который подает гранулы на акклиматизацию (7) и сепарацию (8). Гранулы диаметром от 5 до 20 мм подаются транспортером на упаковочную линию (9) и далее поступают на склад готовой продукции (10). Гранулы диаметром более 20 и менее 5 мм складируются отдельно (10*). На данный вид разработаны ТУ 039010-003-02068284-08 «Теплоизоляция торфяная гранулированная – Торфозит».

1.12. Технология производства рассыпной продукции на основе торфа

Как уже отмечалось, ХМАО-Югра испытывает большие потребности в торфяной продукции, предназначенной для рекультивации техногенно нарушенных территорий, образующихся при строительстве объектов нефтедобычи, аварийных разливов нефтепродуктов.

Использование торфа для этих целей вполне оправданно с учетом современных технологий получения рассыпного торфа в цеховых условиях. Принципиальная технологическая схема производства торфа для целей рекультивации представлена на рис. 7.

После подготовительного отделения торф влажностью ~80% подается транспортером (1) в барабанную сушилку (2), оборудованную теплогенератором (3), работающим на попутном газе. Из сушилки (2) масса торфа, высушенного до влажности ~55%, может разделяться на 2 потока.

Первый поток по ленточному конвейеру (4) поступает на склад готовой продукции (5) и используется в качестве торфяной засыпки нефтезагрязненных поверхностей торфяных болот. Второй поток после сушилки (2) поступает в бункер-дозатор (8) и далее в смеситель (9). В этот же смеситель из склада (6) через бункер-дозатор (7) подается известь. После перемешивания торфяной грунт транспортером (10) подается на склад готовой продукции (11) и используется в качестве грунта для рекультивации откосов дорог, дамб и т. д.

Таким образом, развитие торфяной промышленности в ХМАО-Югре имеет свои характерные особенности, существенно отличающие их от традиционного технологического уклада, широко распространенного во многих других регионах РФ и за рубежом. Отказ от традиционных по-

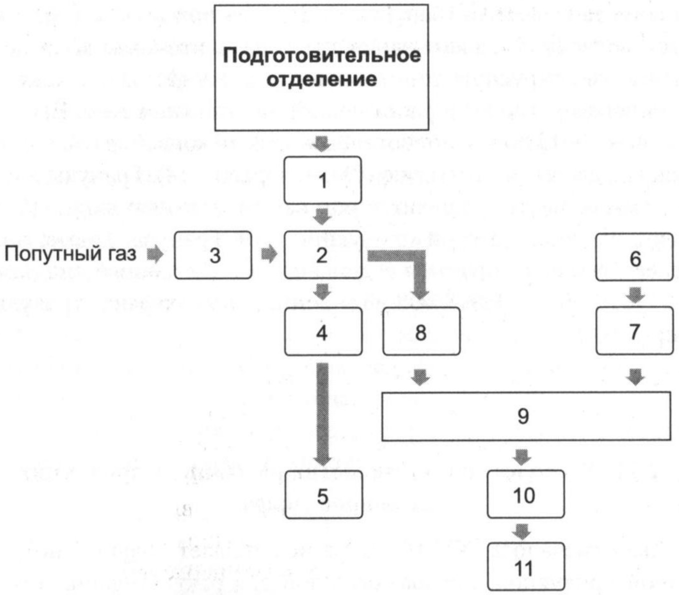

Рис. 7. Технологическая схема производства торфа для рекультивации нарушенных земель

левых технологий здесь продиктован объективными причинами и условиями, прежде всего климатическими. Переход к цеховым, всесезонным технологиям добычи и переработки торфа, использование попутного газа позволяют получать широкий спектр видов продукции различного назначения.

2. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ

2.1. Постановка проблемы

Частые аварии при транспортировке нефти приводят к загрязнению обширных территорий, и как следствие – к уничтожению животных и растений, загрязнению атмосферы легкими фракциями углеводородов, образованию корковых отложений тяжелых фракций (киров), проникновению водорастворимых фракций в природные воды.

Болото – это сложный саморегулируемый природный объект, способный к восстановлению в широких пределах и даже нефтяные загрязнения не могут принципиально прекратить его существование. Однако необходимо научиться управлять процессом восстановления с целью его ускорения в случае возникновения такой необходимости.

Одним из способов рекультивации и восстановления нефтезагрязненных торфяных болот является организация засыпок на основе фрезерного торфа в местах разлива нефти. Учитывая, что нераспространение легких и растворимых нефтепродуктов по-прежнему остается трудно решаемой задачей, основным объектом исследования будут тяжелые фракции углеводородов.

В настоящей главе рассмотрены результаты анализа полевых материалов по искусственному нефтезагрязнению и восстановлению болотных участков. Среди основных задач исследования были выделены следующие:

1) уточнение предельных доз загрязнения торфяного болота нефтью;
2) определение основных приемов, обеспечивающих внесение торфяной засыпки;
3) испытание засыпки на основе подсушенного торфа, используемой для ускоренного восстановления нефтезагрязненного болота;
4) определение критериев применения данного метода восстановления болота и критериев приемки рекультивированных площадей.

Изучение процесса восстановления болота при применении торфяной засыпки в целом включало в себя описание всех изменений в нефтезагрязненном слое торфяной залежи, а именно: 1) изучение динамики изменения микрофлоры в нижнем (загрязненном деятельном) и в верхнем (насыпанном фрезерном) слоях при внесении на поверхность болота различного количества нефтепродуктов; 2) определение содержания нефти и активности микробиологических процессов в деятельном и насыпном слоях с учетом временного фактора.

Смысл нанесения торфяной засыпки заключается в интенсификации и мобилизации внутренних ресурсов экосистемы для возвращения ей исходных свойств. Самовосстановление экосистемы и искусственное восстановление базируется на активизации биогеохимических процессов в деятельном слое.

Использование торфяных засыпок для восстановления нефтезагрязненного торфяного болота определяется способностью торфа впитывать и удерживать загрязнитель (нефть) в своей структуре, генерировать развитие микроценоза, призванного обеспечить разложение и переработку загрязнителя на простые и экологически безопасные соединения.

Существующие методы рекультивации поверхностей торфяных залежей методом фрезерования не столько восстанавливают болотный биоценоз, сколько приводят к вертикальному перемещению части нефтепродуктов в более глубокие слои, нарушению структуры корнеобитаемого слоя, возможно к снижению микробиологической активности аэробов и анаэробов при деструкции загрязнителя.

Опыт засыпки торфом-сырцом нефтезагрязненных участков в зимний период не дал положительных результатов – нефть все равно оказывается на поверхности болота при высоких уровнях воды с учетом низкой сорбционной способности сырого торфа. Поэтому в климатических условиях ХМАО-Югры предлагается использовать торф, обезвоженный до влажности 50–60%. Использование такого торфа предотвращает испарение легких фракций углеводородов в атмосферу и удерживает за счет сорбционно-капиллярного впитывания нефть от дальнейшего растекания под действием паводковых и дождевых вод.

2.2. Нефтезагрязнение земель в ХМАО-Югре

Объем нефти, извлекаемой из недр ХМАО-Югры, составляет около 57% всей нефти, добываемой в РФ, и 7,2% от мировой добычи. С начала разработки нефтяных месторождений округа в 1964 г. и по состоянию на 1 января 2007 г. накопленная добыча нефти составила 8604,9 млн т.

В настоящее время в округе разрабатывается 278 месторождений нефти, на 53 из них добыча превысила 1 млн т нефти в год, среднесуточная добыча нефти в 2006 г. составила 755 тыс. т.

Такие огромные объемы добычи нефти не могли не сказаться на состоянии окружающей среды округа. Участники Всероссийского съезда экологов нефтяных регионов, проходившего в 2007 г. в г. Ханты-

Мансийске, главными причинами высокого уровня загрязнения окружающей среды в нефтегазодобывающих регионах России назвали следующие:

- большое количество аварийных разливов нефти, нефтепродуктов и попутно добываемых пластовых флюидов;
- низкие темпы, объемы и качество рекультивационных работ, не способных обеспечить реабилитацию территорий, подвергнувшихся загрязнению.

На Всероссийской научной конференции «Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель», проходившей 4–8 июня 2007 г. в г. Екатеринбурге, принято решение просить правительства областей и республик РФ усилить контроль над правильностью выбора направлений рекультивации, качеством выполненных работ, их соответствия существующим законодательным и нормативным актам. Ввиду существенного различия минеральных и торфяных почв отмечена необходимость корректировки региональных нормативных документов, касающихся рекультивации нефтезагрязненных торфяных болот, с учетом требований Федерального законодательства в этой области и основной цели рекультивации – восстановление естественного биоценоза.

ХМАО-Югра занимает первое место в России не только по добыче нефти, но и по количеству аварий на трубопроводах. Анализ официальных данных по аварийности в системе нефтесбора на территории округа за 14 лет показывает, что в среднем за год происходит от 1600 до 2000 аварий. Максимальная аварийность отмечалась в середине 90-х годов прошлого столетия и в 2004 г. Динамика количественных показателей аварийности показывает устойчивую тенденцию к повышению числа аварий за последние несколько лет (рис. 8). Количество нефтесодержащих вод, попавших в окружающую среду, в среднем составляло 3,7 тыс. т, если не учитывать экстремальный 1996 г., когда объем разлившейся нефти составил максимальную величину за весь период отчетности – более 33,5 тыс. т. В среднем в результате одной аварии в окружающую среду попадает более 3 т нефтесодержащей жидкости (в 1996 г. эта цифра составила 12,6 т).

Наибольшее число зафиксированных разливов нефти происходит в результате порывов нефтепроводов, причем 96 аварий из 100 обусловлены коррозией труб. Анализ статистических данных по аварийности из-за коррозионного износа на нефтегазодобывающих предприятиях ХМАО-Югры показал, что средний срок службы внутрипромысловых коллекторов до первой аварии составляет от 2 до 3 лет.

Рис. 8. Динамика основных показателей аварийности при эксплуатации нефтяных месторождений

Специалистами НИИ экологии и рационального использования природных ресурсов на территории ОАО «Юганскнефтегаз» (южная часть округа) было выявлено 611 нефтезагрязненных участков общей площадью более 750 га (табл. 17). Чуть менее 2/3 загрязненной территории приходятся на болота. На незначительное количество разливов – всего 26% (более 1 га) – приходится почти 85% замазученной территории болот (табл. 18).

Таблица 17

Биотопическое распределение нефтяного загрязнения производственной территории ОАО «Юганскнефтегаз»

Биотопы	Количество загрязненных участков, шт.	Доля от общего количества, %	Площадь загрязнения, га	Доля от общей площади, %
Болота	338	55,4	516,81	68,6
Водные поверхности	106	17,3	27,82	3,7
Минерализованные поверхности	13	2,1	10,21	1,4
Лесные земли	128	20,9	153,42	20,4
Пойменные земли	20	3,3	43,16	5,7
Прочие	6,0	1,0	1,39	0,2
Всего	611	100	752,81	100

Таблица 18

Характеристика нефтяного загрязнения производственной территории ОАО «Юганскнефтегаз» по площадям разливов

Категории разливов, га	Количество загрязненных участков, шт.	Доля от общего количества, %	Площадь загрязнения, га	Доля от общей площади, %	Средняя площадь разлива, га
До 0,1	192	31,4	9,55	1,3	0,05
0,1–1,0	259	42,4	107,13	14,2	0,41
Более 1,0	160	26,2	636,13	84,5	3,98
Всего	611	100	752,81	100	1,23

При этом усредненный крупный разлив имеет площадь почти 4 га. Основное число разливов имеют размеры от 0,1 до 1 га. В частности, для Мамонтовского месторождения установлено, что и по концентрации, и по общей площади преобладают участки с сильной степенью загрязнения. Причем подавляющее количество свежих разливов (до 85%) имеют сильную степень загрязнения.

При инвентаризации загрязненных нефтью земель на месторождениях восточной, более заболоченной части округа, специалистами ООО «СибНИПИРП» обследовано 8417 участков общей площадью 4417 га. На этих месторождениях основные площади загрязнения обнаружены на болотах (86%) и техногенных грунтах (12%), представляющих собой отсыпки песка на болотах под технологические площадки для добычи и подготовки нефти (табл. 19). Наибольшее количество участков загрязнено в слабой степени, но это преимущественно мелкие участки, и их доля в общей площади загрязнения вдвое ниже, чем участков со средней степенью загрязнения (табл. 20). Приуроченность основной массы загрязнений к переувлажненным участкам, преимущественно болотам, отразилась на глубине загрязнения почвы нефтью (табл. 21) – на 95% участков глубина загрязнения не превышает 15 см.

Таблица 19

Характеристика биотопического распределения нефтяного загрязнения в восточной части ХМАО

Биотопы	Количество загрязненных участков, шт.	Доля от общего количества, %	Площадь загрязнения, га	Доля от общей площади, %
Болота	6153	73	3814	86
Лесные суходольные земли	112	1	75	2
Техногенные грунты	2152	26	528	12

Таблица 20

Характеристика степени загрязнения участков нефтью в восточной части ХМАО-Югры

Степень загрязнения	Количество загрязненных участков, шт.	Доля от общего количества, %	Площадь загрязнения, га	Доля от общей площади, %
Сильная	2064	25	1505	34
Средняя	3059	36	1907	43
Слабая	3294	39	1005	23

Таблица 21

Глубина загрязнения почвы нефтью

Глубина загрязнения, см	Количество, шт.	Площадь, га	% от общего количества	% от общей площади
0–5	2960	980	35	22
6–10	3148	1942	38	44
11–15	1868	1184	22	27
Более 15	441	310	5	7

Точная площадь нефтезагрязненных земель в ХМАО-Югре неизвестна, поскольку нефтяные компании занижают объемы разлитой нефти и площади загрязнения, а региональной инвентаризации таких земель не проводилось. Хотя, по различным экспертным оценкам, площадь загрязненных нефтью земель в округе может составлять от 10 до 40 тыс. га. При этом площадь нефтезагрязненных земель, получаемая на основе дешифрирования аэро- и космоснимков, как правило, завышена, данные наземной инструментальной съемки имеют не всегда полный и детальный характер, а ввиду коммерческого характера такой информации они недоступны для широкого анализа.

2.3. Нормативная база по оценке загрязнения

Нормативная база по оценке нефтяного загрязнения в России, и в частности в ХМАО-Югре, разработана недостаточно. Необходимы обоснованные критерии по содержанию нефти и ее компонентов в почве в зависимости от расположения загрязненного участка, его статуса и времени разлива.

В начале 90-х годов в действующих федеральных нормативных документах[6] были установлены очень жесткие нормативы по степени загрязнения почвы нефтью и нефтепродуктами: допустимое содержание – меньше ПДК[7], низкий уровень загрязнения соответствует 1–2 г на 1 кг почвы, средний – 2–3, высокий – 3–5, очень высокий – более 5.

[6] Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель и Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами.

Как показал опыт, эти требования очень жесткие. По действовавшему в ХМАО-Югре с 1994-го по 2002 г. регламенту на приемку рекультивированных земель допустимым считалось содержание в минеральных почвах 20, а в торфе 80 г нефти на 1 кг воздушно-сухой почвы. В соответствии с действующим Положением о порядке консервации земель с изъятием их из оборота[8] участки земель, на которых фиксируются подобные концентрации нефти в почвах, подлежат консервации с изъятием их из оборота, что на практике никогда не применялось.

В 2004 г. Правительством ХМАО был утвержден региональный норматив[9], в котором допустимое остаточное содержание нефти в почве дифференцировано в зависимости от направления использования земель, типа и свойств почвы.

Принятый региональный норматив применим главным образом для свежих разливов нефти, а на многих месторождениях преобладают старые (более 2–3 лет после аварии) разливы. Известно, что через 2–3 месяца после разлива испаряются все легкие фракции нефти с температурой кипения более 100 °С, через 2–3 года – фракции нефти с температурой кипения более 300 °С и в почве остаются тяжелые малотоксичные фракции (парафины, асфальтены, смолы). Поэтому рекультивация старых разливов наносит болотам больше вреда, чем оставление в почве малотоксичных фракций нефти.

Торфяные болота существенно отличаются от минеральных почв по структуре и основным свойствам. Торф представляет собой многокомпонентную многофазную полидисперсную систему. Содержание влаги в неосушенном состоянии достигает 95–98% от общей массы.

Применяемая в настоящее время методика определения содержания нефти в почвах предполагает их высушивание до воздушно-сухого состояния. При снижении содержания влаги с 95% до воздушно-сухого состояния (30–50% у торфа, 10–15% у минеральных почв) масса пробы уменьшается, изменяется структура и дисперсность торфа. В результате полученные данные не отражают реальной степени загрязнения болот.

[7] ПДК для нефти в почве до сих пор не разработаны, определены ПДК для бензина, а также некоторых ароматических углеводородов (бензол, кумол, стирол, толуол), которые составляют 0,1–0,5 мг/кг.

[8] Постановление Правительства РФ от 2.10.2002 г. № 830.

[9] Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

В отношении торфяных болот следует давать оценку содержания нефти на единицу массы торфа естественной влажности и ненарушенной структуры. Учитывая низкую точность определения нефти по существующим методикам (ошибка определения 25–45%), целесообразно использовать экспресс-методы с быстрым определением содержания нефти в полевых условиях при естественной влажности и сложении торфа (разработка МГУ).

При обосновании региональных нормативов применительно к болотам необходимо учитывать следующие обстоятельства.

1. Под восстановлением полезных свойств торфяной залежи следует понимать восстановление коренного фитоценоза и восстановление процесса торфообразования.
2. Следует применять способы рекультивации болот, отличные от рекультивации минеральных почв.
3. Допустимое остаточное содержание углеводородов нефти и нефтепродуктов в торфе должно соответствовать нефтеемкости торфа (масса нефти, которую торф способен поглотить и удержать, приходящаяся на единицу объема). В этом случае остаточное содержание нефти в почве будет допустимым, исключающим возможность поступления нефти и продуктов ее трансформации в сопредельные среды и на сопредельные территории.
4. Нефтеемкость следует выражать в массе нефти, приходящейся на единицу объема торфа (например, 1 кг нефти на 1 м^3 торфа в залежи).

2.4. Опыт рекультивации нефтезагрязненных земель в ХМАО-Югре

Главной целью рекультивации загрязненных земель является снижение содержания нефти в почве до требований регионального норматива, но при этом опускается условие о восстановлении нарушенных разливом нефти исходных биоценозов.

В последние годы нефтяные компании выделяют больше средств на рекультивацию загрязненных земель, что демонстрирует пример Нижневартовского района (рис. 9, 10).

Началом появления сложившегося комплекса рекультивационных мероприятий на территории ХМАО-Югры можно считать 1990–1991 гг., когда в России возник экологический «бум»[10] и некоторыми нефтегазодобывающими предприятиями был впервые применен при ликвидации своих аварийных разливов нефти один из первых отечественных промышленно

[10] В конце 1991 г. был принят первый в России Закон «Об охране окружающей природной среды».

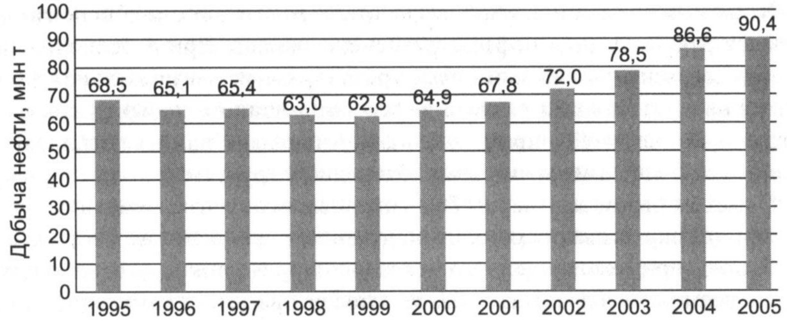

Рис. 9. Динамика добычи нефти на территории Нижневартовского района

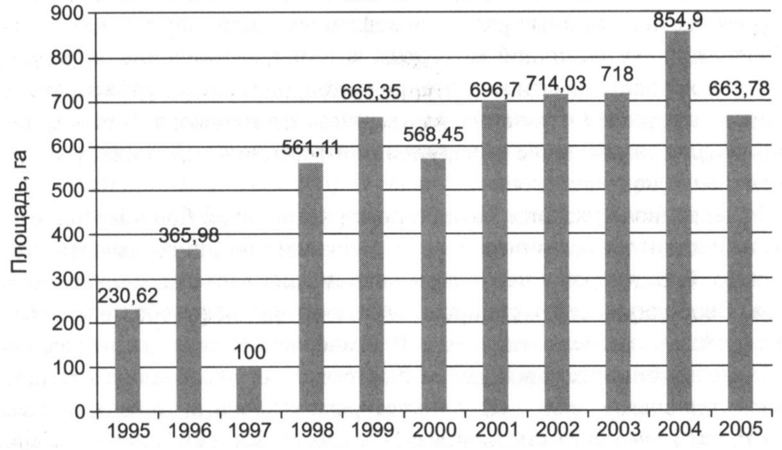

Рис. 10. Рекультивация нефтезагрязненных земель на территории Нижневартовского района

выпускаемых нефтеразрушающих биопрепаратов – бактериальный препарат «Путидойл», освоение которого происходило параллельно с формированием местных надзорных природоохранных органов в 1993–1995 гг.

Процесс рекультивации нефтезагрязненных земель за сравнительно короткие сроки набирал высокие темпы, параллельно, методом проб и ошибок, формировались технологии рекультивации. Согласно опубликованным официальным данным, если в 1994 г. в округе площадь земель, рекультивированных после нефтезагрязнения, составила 98,759 га, то уже в 1998 г. на территории округа за год было рекультивировано 837,536 га, а в 2000 г. – 1013,192 га нефтезагрязненных земель.

В настоящее время в мире разработано много научно-обоснованных методов рекультивации нефтезагрязненных земель. При небольших масштабах загрязнения в экономически развитых странах применяют метод снятия на всей площади разлива нефти загрязненного почвогрунта, с последующей очисткой в промышленных установках или на специальных полигонах, и его замены чистым плодородным грунтом.

С учетом огромных масштабов загрязненных нефтью земель округа в основу их рекультивации сегодня положен метод очистки на месте разлива. Основы применения данного метода на территории округа, используемые повсеместно в практике[11], базируются на процессах самоочищения за счет испарения, деструкции нефти под воздействием внешних факторов и внутренних ресурсов биогеоценозов.

Согласно постановлению Правительства РФ от 15.04.2002 г. № 240, большая часть аварийных разливов нефти классифицируется как чрезвычайная ситуация различной категории. Компании, имеющие объекты добычи или хранения нефти и нефтепродуктов, обязаны разрабатывать планы предупреждения и ликвидации аварийных разливов, которые должны быть локализованы после обнаружения в течение 4 ч на водной поверхности и 6 ч – на суше.

Летом на воде разливы локализуются установкой боновых заграждений, на суше – обвалованием участка местным или привозным грунтом с помощью бульдозеров или оконтуриванием канавами с помощью экскаваторов. Свободную нефть собирают и откачивают нефтесборщиком (срок сбора нефти не регламентируется). В зимнее время ликвидация разливов, особенно на болотах, проводится быстрее и легче: обваловка разливов проводится снегом; если нефть не потеряла текучесть, то ее откачивают, если замерзла – собирают лопатами, бульдозерами и вывозят в шламонакопитель. На ручьях и мелких реках в местах пересечения их автодорогами устанавливают нефтеловушки (гидрозатворы) для предотвращения миграции нефти за пределы нефтепромысла. Локализация разливов проводится силами специализированных аварийно-спасательных формирований или цехов ликвидации последствий аварийных разливов нефтяных компаний. Задача ликвидационного этапа – исключить возможность распространения нефти за пределы загрязненного участка.

Время начала работ по рекультивации загрязненных земель и технологии рекультивации в настоящее время законодательно не регламентированы. Нормативно-правовыми актами было закреплено только положение о проведении рекультивации по проектам, имеющим положительное заключение государственной экологической экспертизы. Однако с 1 января 2007 г. вступили в силу изменения к Федеральному закону «Об экологической экспертизе», по которым проекты рекультивации загрязненных земель «выпали» из правового поля и более не подлежат экологической экспертизе.

[11] Практические рекомендации по рекультивации нефтезагрязненных земель ХМАО-Югры, разработанные Тюменской лесной опытной станцией и изданные в 2000 г. Тюменским государственным университетом.

По сочетанию факторов, лимитирующих разложение нефти в почве, практически каждый нефтезагрязненный участок индивидуален. Более того, часто даже в пределах одного участка наблюдаются значительные вариации таких факторов. Поэтому проведению рекультивационных работ обычно предшествует паспортизация нефтезагрязненного участка земель, которая позволяет получить объективную картину об их местоположении и биотопической приуроченности, давности, степени и характере загрязнения, состоянии растительного покрова, почвенно-гидрологических особенностей, захламленности, проходимости для технических средств, а также о других параметрах, определяющих впоследствии их разбивку на рабочие выделы, а также выбор и порядок выполнения рекультивационных мероприятий по каждому из них.

На основании полученных данных разрабатывается проект (индивидуальный, групповой), а при наличии у компании типового проекта рекультивации – план производства работ. В связи с исключением проектов рекультивации из числа объектов государственной экологической экспертизы решением властей округа принято решение согласовывать проекты с лесхозами и территориальными управлениями охраны окружающей среды.

Для того чтобы найти оптимальное технологическое решение по рекультивации загрязненных нефтью земель, проектировщик должен знать не только изложенные в паспорте участка количественные параметры разлива, но реально представлять себе качественные изменения, происходящие в почве под действием нефти, почвенные, климатические, гидрологические условия, в которых будут проходить процессы деградации токсических компонентов.

Попадая в почву, нефть может находиться в следующих состояниях:

- в жидком подвижном виде (тонкие пленки);
- растворенном в воде виде (водорастворимые фракции углеводородов);
- малоподвижном виде в поровых каналах, трещинах, полостях (капиллярное удерживание);
- в сорбированном виде (на поверхности и в объеме торфяных агрегатов, частиц и органо-минеральных образований;
- в виде массивных слоев пены на поверхности объекта загрязнения (почвы, торф, акватория) сплошного слоя на поверхности почвы.

Попавшая в почвенный профиль нефть вызывает нарушение водно-воздушного режима в результате заполнения порового пространства по-

чвы, слипание мелких почвенных агрегатов с образованием более крупных, что может привести к возникновению битуминозной корки. Почва, насыщенная нефтью, теряет способность впитывать и удерживать влагу. Растения гибнут, или у них нарушается потребление воды, питательных веществ, и возникает кислородное голодание.

Изменение нефти в почвах, ее деградация происходит под влиянием трех основных взаимозависимых и взаимообусловленных факторов: микробиологического, физического и химического.

По данным Лаборатории геомикробиологии, полученным с площадок, заложенных Институтом биологии КФ АН СССР, через год после загрязнения содержание остаточной нефти составляло: в зоне средней тайги – 40,7–44,4%, в южной тайге – 12,5%, в лесостепи – 4,4% (суходольный луг) и 1,64% (влажный луг), в сухих субтропиках – 0,47%. Таким образом, скорость самоочищения почвы от нефти увеличивается с севера на юг. Результаты показали, что в одной и той же зоне при одной и той же нагрузке (24 л/м^2) при более высоком уровне влажности уменьшение содержания остаточной нефти идет быстрее. Основным процессом деградации нефти в почве является ее окисление, протекающее в аэробных условиях и идущее в двух направлениях. С одной стороны, идет минерализация, приводящая к упрощению структуры нефти, а с другой – конденсация, сопровождающаяся обогащением нефти смолисто-асфальтовыми полярными соединениями.

При радиальном распределении нефти в почвенном профиле значительную роль играют так называемые барьеры-аккумуляторы, то есть горизонты с повышенной нефтеемкостью. Горизонтами-концентраторами нефтяных компонентов являются высокоемкие (органо-сорбционные) органогенные горизонты почв и торфов, а также горизонты легкого гранулометрического состава (минерально-сорбционные), имеющие достаточно высокую эффективную пористость с более низкой потенциальной емкостью. Так, наибольшей нефтеемкостью (>400 г/кг) обладают торфяные горизонты и собственно торфяные почвы и торфяники, которые формируют мощную систему барьеров-концентраторов в вертикальном профиле почв. Количество органических загрязняющих веществ, аккумулирующихся в горизонтах-концентраторах, зависит не только от их нефтеемкости, но также и от их мощности. Например, торфяные почвы с мощностью торфяного горизонта более 10 см аккумулируют основную массу нефти, препятствуя попаданию нефтяных компонентов в грунтовые воды. Установлено, что величина нефтеемкости зависит от влажности торфа. Торф, относительная влажность которого около 50%, удерживает до 350 литров жидкой нефти на 1 м^2, в то время как воздушно-сухой торф может удерживать до 600 литров нефти на 1 м^2. Более рыхлые верхние слои отличаются

большей нефтеемкостью, чем разложившиеся и плотные глубокие слои торфяного горизонта.

Величина нефтеемкости позволяет оценивать объем загрязненных нефтью торфяных почв, а свойство почв активно удерживать нефть и нефтепродукты позволяет применять подсушенный торф, который, впитав нефть, снижает распространение загрязнения.

Поскольку основная масса углеводородов в почве разлагается микроорганизмами, а они эффективно работают при температуре 20–25 °С, хорошей аэрации и влагообеспеченности, принципиально важное значение при выборе технологии рекультивации имеет учет почвенных, гидрологических условий на загрязненном участке, климатических особенностей района проведения работ.

Почвенно-климатические условия округа неблагоприятны для биодеструкции нефти, избыточное увлажнение почв, в первую очередь болотных, с одной стороны, ограничивает глубину проникновения нефти, а с другой – создает дополнительные сложности технического и агробиологического характера при проведении рекультивации.

Анализ применяемых способов рекультивации нефтезагрязненных торфяных болот указывает на недопустимость применения таких способов, как землевание песком, взрывы, выжигание разливов нефти. Патентный поиск показывает, что научная и инженерная работа направлена в основном на разработку новых сорбентов и биопрепаратов, а также способов очистки, применяющих активные методы воздействия. Применение бактериальных препаратов в условиях ХМАО-Югры, при низких температурах, при высоких уровнях загрязнения нефтью (более 100 г на кг) при удаленности объектов рекультивации, а также для старых разливов оказалось неперспективно или неэффективно.

Как следует из рекомендаций компании *Shell* по ликвидации аварийных разливов нефти на болотах, влияние, оказываемое сырой нефтью на торфяные болота, зависит от степени замазучивания их верхнего слоя и характера физического вмешательства при ликвидации аварии. Труднообратимые последствия загрязнения нефтью болот возникают там, где удален растительный покров при ликвидации аварии или где нефть проникает глубоко в органические слои вследствие механического перемешивания верхнего слоя болот.

Б.Е. Чижов[12] предложил систему факторов, лимитирующих биодеградацию нефти в почве, определил основные негативные воздействия на процессы биологического разложения нефти и дал рекомендации по устранению лимитирующих факторов (табл. 22). В этой таблице в ком-

[12] Чижов Б.Е. Рекультивация нефтезагрязненных земель Ханты-Мансийского автономного округа. – Изд-во Тюменского госуниверситета, 2000. – 50 с.

пактной форме изложена суть применяемых в настоящее время в округе технологий рекультивации загрязненных нефтью земель.

Таблица 22

Факторы, лимитирующие процессы биологического разложения нефти в почвах, и методы их нейтрализации

Лимитирующие факторы	Основные негативные воздействия на процессы биологического разложения нефти	Рекомендуемые мероприятия
Пленка нефти толщиной более 5 мм, битуминизированная нефтяная корочка на поверхности почвы	Ухудшение аэрации, закисление подповерхностных слоев почвы, непригодность почв для семенного возобновления растений	Сбор и удаление остаточной свободной нефти сорбентами. Отмывка переувлажненных почв от остаточной нефти струями воды. Разрушение тонкой нефтяной корочки поверхностным рыхлением почв
Высокая концентрация углеводородов в поверхностных слоях почвы: более 20% – в подзолисто-глеевых, более 40% – в торфяных почвах	Подавление жизнедеятельности почвенной микрофлоры и мезофауны. Ухудшение физических свойств почвы, увеличение гидрофобности песчаных, снижение проницаемости суглинистых, ухудшение аэрации, закисление почв. Непригодность почв для высших растений	Срезание и удаление сильно загрязненного нефтью поверхностного слоя торфяных почв. Внесение в минеральные почвы торфа с последующим перемешиванием его с загрязненным грунтом. Перемешивание фрезерованием замазученных поверхностных слоев торфяных почв с менее загрязненными нижними слоями торфа на глубину не более 30 см. Регулярное рыхление почв фрезерованием
Избыточное застойное переувлажнение болотных почв	Дефицит кислорода, высокая кислотность, неблагоприятный температурный режим почв	Регулярное рыхление почв фрезерованием. Формирование микрорельефа из гребней и борозд. Высев гидрофильных трав-мелиорантов
Недостаточное увлажнение песчаных и супесчаных почв	Подавление жизнедеятельности нефтеокисляющих микроорганизмов, затруднение семенного возобновления растений	Внесение торфа с последующим перемешиванием его с загрязненной почвой, дождевание
Высокая кислотность почв	Подавление жизнедеятельности нефтеокисляющих бактерий	Внесение известняковой или доломитовой муки и других раскислителей. Улучшение аэрации почв регулярным рыхлением или формированием микрорельефа из гребней и борозд на переувлажненных почвах
Хлоридно-сульфатное засоление почв	Подавление жизнедеятельности нефтеокисляющей микрофлоры, непригодность почв для древесных и травянистых растений	Рассоление почв естественным путем, затоплением или другими методами
Заиление почв шламом	Ухудшение аэрации, засоление почв + загрязнение	Внесение торфа с последующим перемешиванием его с загрязненной почвой. Регулярное рыхление почв фрезерованием
Накопление промежуточных продуктов распада нефти	Закисление почв накапливающимися органическими кислотами	Внесение известняковой или доломитовой муки и других раскислителей. Высев трав-мелиорантов
Бедность почв усвояемыми формами калия, азота, фосфора	Подавление жизнедеятельности нефтеокисляющих микроорганизмов, угнетенное развитие растений-мелиорантов	Внесение азотных, фосфорных, калийных или комплексных минеральных удобрений
Бедность почв нефтеокисляющими микроорганизмами	Медленная биодеградация нефти	Внесение накопительных культур аборигенных микробных сообществ или промышленных микробиологических препаратов

Рекомендуемые мероприятия в целом предполагают очень активное воздействие на биотоп – промывка верхнего слоя участка (см. цв. вклейку, рис. 11), многократное фрезерование верхнего слоя болота (см. цв. вклейку, рис. 12), создание искусственного микрорельефа из чередующихся гряд и канав, внесение больших количеств минеральных удобрений, раскислителей.

Через 2 года после проведения рекультивации нефтезагрязненного участка верхового болота с применением технологии, основанной на фре-

зеровании торфяной залежи, общее проективное покрытие участка травами оказалось меньше, чем на незагрязненном участке, в 13,7 раза, мхи и лишайники отсутствовали. Через 7 лет проективное покрытие рекультивированного участка травами было в 5,2 раза меньше, мхами и лишайниками – в 53,4 раза меньше по сравнению с незагрязненными участками. Видовой состав трав на рекультивированном участке был в 2,5–3,2 раза беднее. На рис. 13 (см. цв. вклейку) представлен участок через 8 лет после рекультивации.

Для сравнения: через 20 лет после разлива нефти при самовосстановлении биоценозов на загрязненных участках общее проективное покрытие болота кустарничками и травами в 1,7 раза меньше, мхами и лишайниками – в 2,5 раза меньше, чем на аналогичных незагрязненных участках, индекс биологического разнообразия (индекс Шеннона) в 2,1 раза ниже. Снижение содержания нефти в торфе в процессе самовосстановления болот идет значительно медленнее, чем на лесных минеральных почвах (коэффициенты корреляции с давностью разлива соответственно 0,22 и 0,65). Время положительно влияет на восстановление травяного и кустарничкового покрова болота (коэффициент корреляции 0,95), но слабее на зарастание участков мхами и лишайниками (коэффициент корреляции 0,55).

Сопоставление самовосстанавливающихся после разливов нефти и рекультивированных с применением традиционных технологий участков болот позволяет сделать вывод, что на многих участках восстановление биоценозов происходит успешнее без проведения рекультивационных работ, необходимо только создать условия для их самовосстановления (удалить пленку нефти, битумизированную корочку для возобновления воздухообмена).

К основным недостаткам фрезерования можно отнести:

1) уничтожение оставшейся наземной части растений, корнеобитаемого слоя, подавление и длительное восстановление аэробных и анаэробных видов микроорганизмов, микрофлоры, распространение загрязнения в торфяной залежи;
2) отсутствие улучшения на неосушенных, сильнообводненных, малоразложившихся слоях залежи водно-воздушного режима верхнего слоя;
3) разрушение торфогенного, деятельного слоя залежи, в котором происходят процессы массо- и энергообмена с окружающей средой; верхняя часть торфяной залежи фактически лишается способности к саморегулированию водно-воздушного режима.

Однако специальных исследований, определяющих негативное влияние указанных недостатков на восстановление болота, не проводилось.

Выполненное в 2006 г. учеными и специалистами МГУ им. М.В. Ломоносова обследование ранее рекультивированных участков подтвердило негативную роль фрезерования загрязненных нефтью болот. Более высокие темпы восстановления растительности отмечены на участках гряд и рямов, не подвергшихся полной перепашке и по водно-воздушному режиму близких к оптимальным условиям, на которых сохранилась, хотя бы в незначительном количестве, первичная растительность.

Особенно выраженный негативный эффект вызывает поверхностное внесение фосфорных удобрений, которые слабо растворимы в воде. В результате в поверхностном слое торфяной залежи накапливаются токсичные концентрации фосфора, а в зоне размещения основной массы корней фосфора не хватает. Отмечено, что применение удобрений и извести на загрязненных нефтью сильнозасоленных торфах только ухудшает ситуацию, так как при этом еще больше повышается осмотическое давление почвенного раствора, вызывающее усыхание растений и ингибирующее развитие микрофлоры.

Установлено негативное влияние на качество рекультивации повсеместно рекомендуемого раскисления почвы, коэффициенты корреляции между pH водной и солевой вытяжек и величинами общего проективного покрытия растениями на участках с хорошим состоянием растительного покрова положительны и составляют 0,65 (значимы с $p = 0,90$ для $n = 10$). Это объясняется тем, что для естественных болотных видов растительности кислая реакция среды благоприятна. Поэтому внесение карбонатов кальция и магния в процессе рекультивации полагается нецелесообразным.

По мнению специалистов МГУ, в целом характер трансформации растительности и определяемых по ней экологических условий рекультивированных участков олиготрофных болот свидетельствуют о нарушении гидрологического баланса и баланса элементов питания, которое, в свою очередь, приводит к значительной диверсификации путей формирования вторичных биогеоценозов и, кроме того, увеличению роли второстепенных факторов и свойств среды на фоне разрушения гомеостатического механизма функционирования болотных систем. В случае удачного протекания восстановительной сукцессии на рекультивированных поверхностях формируются вторичные луга и евтрофные болота с участием нехарактерных для исходных биогеоценозов элементов.

Технология проведения реабилитационных работ на загрязненных нефтью болотных ландшафтах должна основываться на мягких технологиях, не затрагивающих основной биопродуцирующий торфогенный горизонт.

2.5. Обоснование способа рекультивации и восстановления нефтезагрязненных болот с использованием торфяных засыпок

2.5.1. Основное содержание новой технологии

Целью всесезонной технологии рекультивации нефтезагрязненных торфяных болот с использованием засыпок на основе подсушенного торфа является снижение миграционной способности нефтепродуктов и степени загрязнения нефтью торфо-растительного слоя болота для ускоренного восстановления коренных болотных фитоценозов и возобновления торфообразовательного процесса на нефтезагрязненных торфяных болотах в суровых климатических условиях ХМАО-Югры.

Новый способ защищен патентом № 2323052 «Способ рекультивации нефтезагрязненных поверхностей торфяных болот», опубл. 27.04.2008 Бюл. № 12.

Концепция всесезонной технологии рекультивации нефтезагрязненных торфяных болот с использованием засыпок на основе подсушенного торфа заключается в максимальной мобилизации внутренних ресурсов экосистемы на восстановление своих первоначальных функций, активизации метаболизма существующих в торфогенном (деятельном) слое микроорганизмов, количество которых определяет биохимическую основу торфообразования.

При выдавливании из торфогенного слоя к поверхности болота нефти или ее продуктов при повышении уровня болотных вод (УБВ) слой подсушенного торфа впитывает в себя часть нефти, способствуя самовосстановлению болота и препятствуя миграции свободной нефти в сопредельные среды, и таким образом снижает содержание нефти в торфяной залежи. Торфяная засыпка не является чужеродным материалом для торфяной залежи и представляет собой среду для зарастания болотной растительностью.

Для ускорения процесса восстановления растительности в торф добавляются фрагменты сфагнового и других мхов, способных давать вегетативные побеги по мере намокания и оседания слоя торфяной засыпки.

Состав работ по восстановлению болотного участка включает:

- локализацию разлива нефти, сбор свободной нефти ручными или механизированным способами, как это принято во всех странах и компаниях;
- нанесение слоя подсушенного модифицированного торфа;
- систему мониторинга рекультивируемых участков торфяных залежей, направленную на получение информации о содержании остаточной нефти, динамики микроценозов на этих участках.

Природоохранный эффект этой технологии заключается в ускоренном восстановлении коренного фитоценоза, возобновлении торфообразовательного процесса и минимизации ущерба окружающей среде от аварийных разливов нефти.

2.5.2. Микробиология торфяных отложений[13]

Нефтяное загрязнение отличается от многих других антропогенных воздействий тем, что оно дает не постепенную, а, как правило, «залповую» нагрузку на окружающую среду, вызывая быструю ответную реакцию.

Высокие и критические значения загрязнения характерны для почвы после аварийных разливов нефти. При высоких дозах загрязнения нефтепродуктами (на минеральных субстратах 10–15%, а на органических 15–35%) эффективны технологии восстановления экосистем, улучшающие субстратные условия, прежде всего водно-воздушный режим почвы. Поэтому нельзя однозначно судить о скорости процессов очищения почв от нефти и об оценке эффективности приемов восстановления естественных экосистем, не принимая во внимание в первую очередь исходные дозы загрязнения и почвенно-климатические условия.

Физические, прежде всего механические, методы не могут обеспечить полное удаление нефти и нефтепродуктов из почвы, а процесс естественного разложения загрязнений в почвах чрезвычайно длителен. Разложение нефти и нефтепродуктов в почве в естественных условиях – процесс биогеохимический, в котором главное и большое значение имеет функциональная активность комплекса почвенных микроорганизмов, обеспечивающих постепенную минерализацию нефти и нефтепродуктов. Они являются постоянными компонентами почвенных микроценозов, и следует использовать их катаболическую активность для восстановления нефтезагрязненных почв. Ускорить очистку почв от нефтяных загрязнений с помощью микроорганизмов возможно в основном двумя способами: 1) активизацией метаболической активности естественной микрофлоры почв путем изменения соответствующих физико-химических условий среды; 2) внесением специально подобранных активных нефтеокисляющих микроорганизмов в загрязненную почву.

При загрязнении болот нефтью процесс восстановления усложняется пространственно-временной неоднородностью, которая проявляется по глубине торфяных отложений, в плане болотного массива, его участка или микрорельефа.

[13] По материалам результатов исследований Института природопользования НАН Беларуси.

Деятельные слои верховых и низинных типов торфяных залежей отличаются. У верховых болот за счет значительной части остатков сфагновых мхов слой меняется от 0,15 до 1 м. На низинных его мощность обычно меньше – от 0,05 до 0,3 м (без учета отдельно стоящих кочек). В деятельном слое верховой залежи плотность возрастает по глубине постепенно, соответственно, объем пор снижается с 70–80 до 20–30%, а деятельный слой низинных залежей, как правило, определяется как более однородная структура с небольшим изменением по глубине степени разложения и других показателей.

В верхнем слое залежи происходит основной процесс торфообразования. Это биогеохимический процесс, который замедляется ниже минимального уровня болотных вод, характерного для данного биогеоценоза. Торфяные залежи богаты микроорганизмами (700–800 млн на 1 г торфа-сырца) и приближаются к разряду наиболее плодородных почв. Наибольшее количество микроорганизмов относится к верхнему аэрируемому слою залежей. Здесь сосредоточена большая часть дрожжевых микроорганизмов. Глубже в залежи лишь анаэробные бактерии[14].

Болотные участки различаются по численности и качественному составу микроорганизмов основных физиологических групп. Верховые болота менее благоприятны для жизнедеятельности микрофлоры. Поэтому численность микроорганизмов большинства физиологических групп в них значительно меньше, чем в торфах низинного типа[15].

Нитрофицирующие бактерии в торфяниках верхового типа обнаруживаются редко, тогда как в почвах низинного типа встречаются регулярно, хотя в неосушенной почве они немногочисленны. Количество микроорганизмов, превращающих минеральные формы азота, в почвах низинного типа в 9 раз, а аммонифицирующих бактерий – в 3–15 раз больше, чем в торфяниках верхового типа. Численность спорообразующих форм бактерий в 5 раз выше в торфяниках низинного типа. Для торфов верхового типа часто характерна низкая степень минерализации органического вещества, что неблагоприятно сказывается на развитии актиномицетов. Интенсификация минерализации торфа активизирует развитие последних, и поэтому их численность в торфах низинного типа может быть в 27–32 раза больше, чем в почвах верхового.

Анализ комплекса микроскопических грибов в условиях разной степени нефтяного загрязнения торфа (от 0,02 до 60%), в том числе и на рекультивированных участках, показал, что общая численность грибов в среднем колебалась от 60 до 130 тыс. КОЕ/г (колониеобразующих еди-

[14] Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. – М.: Недра, 1976. – 488 с.

[15] Зименко Т.Г., Самсонова А.С., Мисник А.Г. и др. Микробные ценозы торфяных почв и их функционирование. – Минск: Наука и техника, 1983 – 181 с.

ниц) сухой массы на разных месторождениях[16]. Обнаружена обратная зависимость между численностью грибов и процентным содержанием нефти только для сильнозагрязненных образцов (при содержании нефти свыше 10%).

Видовой состав микроскопических грибов в центре свежего разлива под воздействием высокого уровня (40–60%) загрязнения значительно изменяется: при резком снижении видового богатства место доминирующих в данных торфяниках пенициллов занимают *Trichoderma aureoviride Rifai* и *Mycelia sterilia*. В то же время на участках с низким содержанием свежей нефти (1–2%) заметного снижения видового разнообразия и смены доминирующих видов грибов не происходит, но отмечено некоторое уменьшение обилия пенициллов и появление дрожжеподобных грибов, например, *Aureobasidium pullulans* (*de Bary*) *Frnaud*. В нижележащих (15 см и ниже) горизонтах торфяника в зоне свежего разлива при содержании нефти 1–2% численность микромицетов достаточно высока, доминируют темно-окрашенные, дрожжевые и/или дрожжеподобные грибы с почкующимися спорами (*A. pullulans, Oospora variabilis* (*Linder*) *Lundau*, *Oidiodendron tennuissimum* (*Peck*) *Hughes*).

Отмечается сопряженность в изменении количественного содержания грибов и интенсивности протекания процесса минерализации. Корреляционная зависимость этих характеристик положительная и очень высокая (r_{xy} = 0,739).

Таким образом:

- микробиологическое сообщество в торфяной среде весьма значительно и разнообразно;
- различные виды торфа имеют специфические отличия по содержанию микробиологической фауны;
- при контакте с нефтью происходит существенная трансформация микробиоты; одни формы, виды угнетаются, а другие используют нефтяной субстрат в качестве питательной среды.

2.5.3. Лабораторные исследования динамики нефтесодержания в торфе естественной влажности под воздействием торфяной засыпки

Выполненные в лабораторных условиях в Институте природопользования НАН Беларуси исследования действия засыпок подсушенного тор-

[16] Терехова В.А., Семенова Т.А., Головченко А.В. и др. Влияние нефтяного загрязнения на деструкционную активность и состояние микробиоты олиготрофных торфяников Западной Сибири // Тезисы докладов конференции «Экобиотехнология: борьба с нефтяным загрязнением окружающей среды». – Пущино, 2001. – С. 21–22.

фа (ω = 44%) на нефтезагрязненный пушицевый верховой и низинный осоковый торфа показали следующее.

1. На основании литературных и экспериментально полученных данных можно предположить, что при уровнях загрязнения болотных и почвенных экосистем нефтью выше 20–25 л/м² восстановление природных биосферных функций естественных ценозов практически невозможно; при уровнях загрязнения 10–20 л/м² для восстановления соответствующих экосистем необходимо проведение интенсивных рекультивационных мероприятий; при уровнях загрязнения < 10 л/м² возможно восстановление биоценозов за счет процессов самоочищения.
2. Использование активных рекультивационных мероприятий на болотных экосистемах, загрязненных нефтью, связанных с разрушением биопродуцирующего торфогенного слоя, недопустимо вследствие нарушения торфообразовательного процесса, ускорения процессов минерализации органического вещества торфа, интенсификации проникновения загрязнителя в нижележащие анаэробные слои залежи.
3. В нефти, находящейся на поверхности болота под прямыми солнечными лучами, возможна интенсификация радикально-полимеризационных процессов, в результате чего образующиеся высокомолекулярные системы будут разлагаться медленнее.
4. Как следует из литературных и полученных экспериментальных данных, использование мягких технологий (засыпка загрязненных нефтью болотных ценозов дисперсным торфом) имеет ряд преимуществ. Благодаря капиллярным эффектам загрязнитель частично переводится в активную зону разложения, тем самым снижая нагрузку на биопродуцирующий слой, ответственный за восстановление естественных природных функций ценоза. В системе «торфяная залежь – нефть – дисперсный торф» активность разложения загрязняющего вещества не только не снижается, но в некоторых случаях интенсифицируется за счет использования биодеструктивного потенциала нанесенного торфа, содержащего значительные количества окисляющего агента (кислорода воздуха). В этом случае в отсутствие открытого солнечного света не происходит радикально-полимеризационных процессов и нефть находится в состоянии, доступном для ее биоутилизации.
5. В процессе разрушения нефти в торфяной залежи активное участие принимают все составляющие микробиоценоза залежи: бактерии, актиномицеты и микромицеты. Наиболее благоприятные условия для развития микробного ценоза, деградирующего нефть, складываются при внесении на торфогенный слой, загрязненный нефтью, сорбента (дисперсного торфа). Прирост численности всех составляющих микробиоценоза свидетельствует об интенсивности протекания деструктивных процессов и хорошей аэрации в системе «залежь – нефть – торфяная засыпка». Интенсификация деятельности аборигенной микрофлоры возможна добавками небольших количеств специальных микробных препаратов в присутствии элементов минерального питания.

В Уральском государственном лесотехническом университете, экспериментируя в лаборатории с сухим измельченным, используемым в качестве засыпки верховым сфагновым торфом ω = 55–60%, С.В. Залесов с коллегами пришли к следующим выводам.

1. Использование технологии засыпки загрязненных нефтью торфяных залежей подсушенным торфом имеет ряд преимуществ. Благодаря адсорбции загрязнитель частично переводится в активную зону разложения, тем самым снижая нагрузку на биопродуцирующий слой, ответственный за восстановление естественных природных функций ценоза.
2. В процессе разрушения нефти в торфяной залежи активное участие принимают все составляющие микробиоценоза залежи: бактерии, актиномицеты и микромицеты. Наиболее благоприятные условия для развития микробного ценоза, расщепляющего нефть, складываются при внесении на торфогенный слой, загрязненный нефтью, сорбента. В данном случае – торф в воздушно-сухом состоянии. Прирост численности всех составляющих микробиоценоза свидетельствует об интенсивности протекания деструктивных процессов и хорошей аэрации в системе «залежь – нефть – торфяная засыпка». Интенсификация деятельности аборигенной микрофлоры возможна добавками определенных количеств минеральных удобрений и раскислением торфа.
3. Проведенный модельный эксперимент по рекультивации загрязненной торфяной залежи слоем подсушенного торфа имеет положительный результат. При таком методе рекультивации идет активизация деструктивных процессов в слое торфа. Можно рекомендовать проведение этого опыта в расширенном варианте в природных условиях.

2.5.4. Полевые исследования процессов восстановления нефтезагрязненных болотных экосистем с использованием торфяных засыпок

Распространение технологии восстановления нефтезагрязненных торфяных болот с использованием засыпок ставит вопрос о приемлемости исследований, выполненных на отдельном болоте и в определенной природной зоне, к ее использованию на других болотах. Опираясь на уже сложившиеся представления о типологии торфяных болот, можно утверждать, что

исследования, выполненные в одной зоне болотного или торфяно-болотного районирования, распространяются на болота того же типа всей зоны.

В настоящее время типология болот в России и в мире имеет много общего, и в целом ее исследования направлены на дальнейшую конвергенцию понятий в номенклатуре болотной типологии.

Существующая разница в климатических условиях не имеет для развития болот принципиальных последствий. Различия в длительности вегетационного периода компенсируются увеличением температуры вегетационного периода или суммы его активных температур.

Предполагая, что проблема типологии и районирования торфяных болот все равно может вызывать вопросы допустимости распространения технологии рекультивации нефтезагрязненных болот, ниже приводится подробное описание участка полевых исследований динамики деструкции нефтепродуктов в верхнем слое торфяного болота.

Торфяное болото Дмитровское Тверской области расположено в области распространения ледниковых отложений в виде суглинков и моренных глин. Четвертичные отложения залегают мощностью 35–40 м и подстилаются каменноугольными известняками.

Рельеф местности, на которой сформировалось торфяное месторождение, представлен мягкоочерченными высокими холмами, чередующимися с замкнутыми котловинами и водораздельными, когда-то проточными впадинами, а в настоящее время нередко занятые торфяниками, часто дающие начало ручьям и малым рекам. Впадины имеют вытянутую форму шириной до 2 км. Максимальные глубины торфяника идут параллельно суходольным грядам и достигают максимума в концах впадины, где торфяная залежь подстилается глинами.

Торфяное месторождение Дмитровское занимает неглубокую водораздельную впадину. Наличие большого количества остатков древесины в торфе и пней в нижнем слое торфяной залежи при незначительном количестве сапропелевых отложений указывает на то, что болото образовалось при заболачивании леса в связи с ухудшением дренажа поверхностных вод.

Месторождение имеет вытянутую форму с севера на юг шириной до 2 км и длиной 6 км. Рельеф поверхности ровный. Северный и центральный участки имеют уклон на север, а южный – на юг. Северная часть и южная имеют слегка выпуклую форму поверхности.

Водное питание болота в настоящее время происходит за счет атмосферных осадков и частично за счет поверхностного стока.

Торфяная залежь относится к переходному и верховому типам. Участки верхового типа расположены в северной и южной частях месторождения.

Основными торфообразователями являются олиготрофные растения: сфагновый мох, пушица, кустарнички, древесные, осока, гипновый мох,

шейхцерия и т. д. Сфагновый мох составляет до 40% и пушица – до 24% от общего состава торфяной залежи. Они равномерно распределены по площади и глубине торфяной залежи с повышением к поверхности доли сфагновых мхов.

Средние данные степени разложения торфа на верховом участке соответствуют виду верховой магелланикум-залежи. Максимальные значения до 45% в средней части залежи и до 50% в нижней у дна. Верхний слой в среднем имеет значение степени разложения до 30%.

Среднее значение влажности торфа по месторождению – 89,5% с интервалом от 83,4 до 93,4%. Для верхового участка характерны среднее значение влажности – 89,7%. Среднее значение зольности торфа – 4,4%. Для верхового участка – 4%. Пнистость торфяной залежи – около 2%.

Участок для выполнения экспериментальных работ выбран в северной части торфяного болота, не подвергшейся влиянию добычи торфа. Растительный покров представлен редкостойной сосной высотой до 6 м и диаметром до 8 см. Полнота древостоя 0,3–0,4. Редкий подрост березы до 1 м. До 50% древостоя – сухостой. В кустарничковом покрове преобладают багульник, подбел, кассандра, клюква, водяника с общим покрытием до 20%. Травянистые растения представлены пушицей влагалищной и морошкой. Покрытие трав составляет 30%. Мхи: преобладают *Sphagnum magellanicum, S. angustifolium* и редко *S. fuscum* и *Politrichum strictum*. Покрытие мхов – 95%.

Микрорельеф достаточно ровный, с амплитудой до 25 см со слабовыраженными неориентированными грядами и мочажинами. Уклон поверхности незначительный.

Опробование торфяной залежи выполнялось в одном пункте на контрольной площадке на всю глубину торфяной залежи послойно через 0,25 м. Отбор осуществляется пробоотборочными челноками буров ТБГ-1.

Лабораторные анализы включали определение ботанического состава, общетехнических свойств (табл. 23).

Таблица 23

Лабораторные анализы торфа

Определяемый показатель	**ГОСТ**
Тип и вид торфа	21123-85
Ботанический состав	28245-89
Массовая доля влаги ω, %	11305-83
Зольность A^c, %, не более	11306-83
Кислотность солевой суспензии pH_{KCl}	11623-89
Степень разложения, %	28245-89

Залежь имеет следующее послойное от поверхности (в метрах) строение:
- 0,5–0,75 – магелланикум-торф, R = 20%;
- 0,75–1,0 – пушицево-сфагновый верховой, R = 30%;
- 1,0–1,25 – пушицевый верховой, R = 50%;
- 1,25–1,5 – шейхцериевый верховой, R = 35%;
- 1,5–1,75 – шейхцериевый верховой, R = 30%;
- 1,75–2,0 – древесно-травяной низинный, R = 50%;
- 2,0–2,10 – торф (древесно-травяной) с песком;
- ниже – влажная серо-желтая супесь и суглинок.

Увлажненность поверхности естественная – при ходьбе выделяется вода. Уровень воды на участке в среднем ниже поверхности залежи на 10–15 см (июль 2005 г.).

Строение верхнего слоя (0,0–0,25 м) было обследовано по углам экспериментальной площадки (рис. 14). Точка 1 – пушицево-сфагновый торф со степенью разложения 15%. Точки 2 и 3 – ангустифолиум-торф со степенью разложения 15%. Точка 4 – ангустифолиум-торф со степенью разложения 10%. В среднем мощность очесного слоя 0,1–0,2 м.

Таким образом, состав растительности, морфометрия, строение и общие свойства торфяной залежи экспериментального участка соответствуют особенностям болот Среднего Приобья.

Обеспечение выполнения всего комплекса работ в полевых и лабораторных условиях потребовало разработки соответствующего методического обеспечения и его последующего уточнения.

На выбранном участке неосушенной торфяной залежи организована разбивка площадок согласно схеме, приведенной на рис. 14. Всего подготовлено 14 площадок, каждая размером 1 × 1 м. Площадки 1.1–1.4 и 2.1–2.4 являлись основными: на них наносилась нефть и торфяная засыпка с разной влажностью. На площадки 3.1–3.3 наносили нефть без последующей засыпки. Между площадками 1.1–1.4 и 2.1–2.4 организованы три контрольные: К – естественное состояние залежи; $К_1$, $К_2$ – с засыпкой торфом разной влажности, но без нанесения нефти. Общая площадь всего участка 110 м^2.

Организация такой экспериментальной площадки позволяет контролировать различные процессы деструкции нефти, диффузии в торфогенный слой и торфяные засыпки, образования киров и т. д. Появляется сравнительная база, следовательно, результаты анализа становятся сопоставимы и более объективны.

С помощью торфяного бура из залежи отобраны образцы на анализы: общетехнический и геоботанический. Установлены средние значения торфяной залежи на участке:
- влажность – 90,62%;

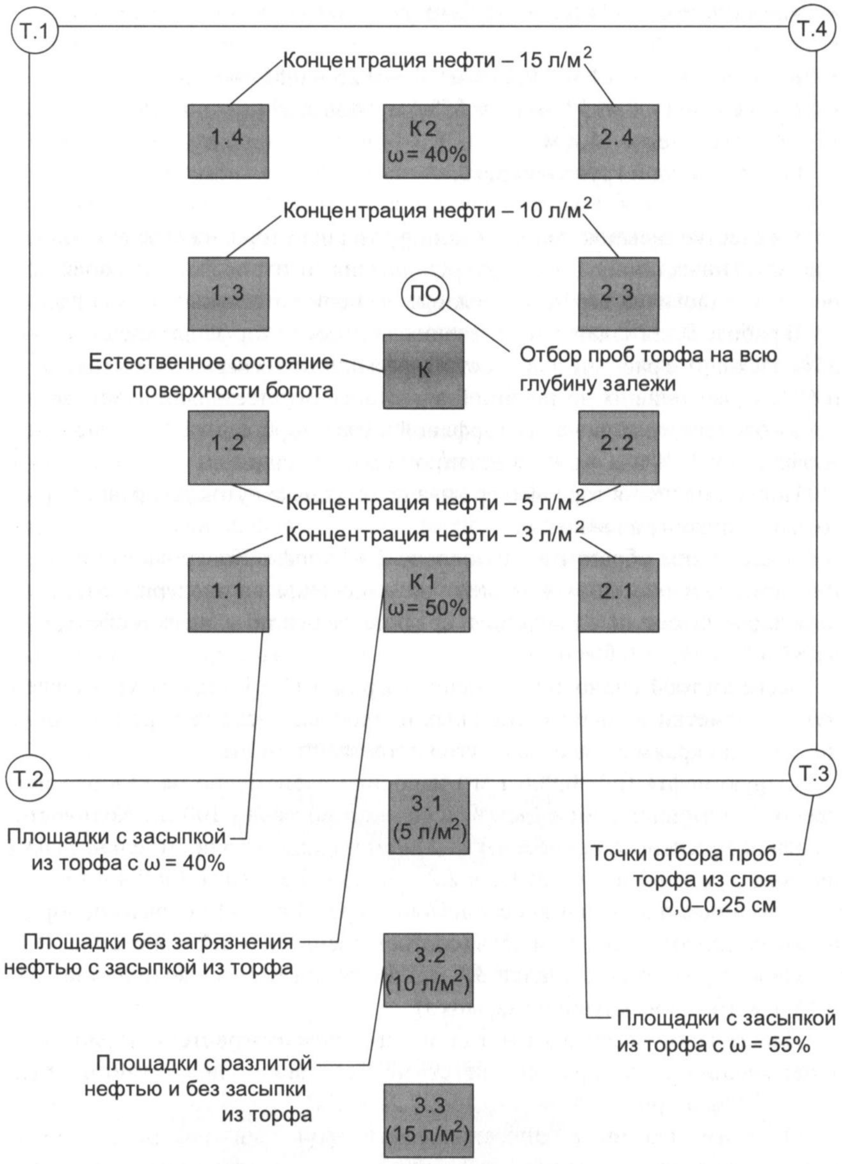

Рис. 14. Схема экспериментальной площадки

- кислотность – 3,24 (водная); 2,40 (солевая);
- зольность – 6,70%;
- $\rho_{зал}$ в залежи: 0–0,1 м – 0,16 т/м³; 0,1–0,25 – 0,55 т/м³;
- $\rho_{зас.}$ засыпки – 0,495 т/м³ (ω = 55%) и 0,430 т/м³ (ω = 40%);
- глубина залежи – 1,8 м;
- подстилающий грунт – супесь.

В качестве засыпок использовали фрезерный торф из штабеля на производственных площадях торфопредприятия Дмитровское. По своей природе он аналогичен торфу в залежи на экспериментальных площадках.

В работе были заданы два значения влажности торфяных засыпок: 40 и 55%. Исходные рабочие влажности торфа для таких засыпок составили 32 и 69%. Доведение их до заданной влажности осуществляли путем добавления расчетного количества торфяной воды в торф с ω = 32% и смешения торфа с ω = 32% и ω = 69% в заданном соотношении.

После смешения торф выдерживали несколько суток для равномерного выравнивания влажности.

Всего таким образом подготовлено 2 м³ торфа. Контрольные измерения влажности засыпок в момент их нанесения на экспериментальные площадки показали следующие средние результаты влажности торфа: 45,83 и 55,05%.

Засыпки торфа наносили из мешков в рамку (1 × 1 × 0,3 м), установленную на отметки экспериментальных площадок, после чего рамку снимали, торф по краям образовывал угол естественного откоса.

Сырую нефть (ρ = 0,906 т/м³) наносили равномерно на каждую площадку с помощью лейки (всего использовано около 100 л). Количество нефти определено техническим заданием и составило по отдельным площадкам (л/м²): 1.1 и 2.1 – 3; 1.2 и 2.2 – 5; 1.3 и 2.3 – 10; 1.4 и 2.4 – 15.

Указанные площадки впоследствии (через 3 суток) покрывали торфяными засыпками с ω – 40 и 55% (соответственно для 1.1–1.4 и 2.1–2.4).

На контрольные площадки 3.1–3.3 наносили нефть в количестве 5, 10 и 15 л/м² (без последующей засыпки).

Для засыпок расчетным методом определены пористость, водо- и газонасыщенность, которые соответственно составили: при ω = 40% – 82,8; 17,2; 65,6%, а при ω = 55% – 85,15; 27,2; 57,95%.

Отметим, что после нанесения нефти происходит распределение загрязнителя в некотором объеме деятельного слоя, примыкающих к нему слоях залежи и нижних слоях засыпки. Следовательно, возникает задача по оценке содержания нефти в объеме торфа (л/м³). Решение этой задачи осуществляли двумя способами. Первый – визуальная оценка с промерами глубины проникновения нефти в залежи на контрольных площадках

3.1–3.3. Второй – путем отбора проб на лабораторный анализ из площадок 1.1–1.4 и 2.1–2.4 (через засыпки).

На контрольных площадках 3.1–3.3 глубина проникновения нефти через торфогенный слой в залежь (через 3 суток), составила 9, 14 и 22 см при загрузке нефти соответственно 5, 10 и 15 л/м².

Количество разлитой нефти меньше критических значений определяет глубину ее проникновения, хотя деятельный слой болота обладает некоторой емкостью поглощения. Нефть покрывает стенки пор, состоящих из растений и их остатков, и частично закрепляется (замазучивает торфорастительный материал). Поэтому глубина ее проникновения зависит от пористости верхнего слоя болота, положения уровня болотных вод и количества самой нефти. Нижний предел ее проникновения определяется положением поверхности болотной воды. Однако понятие поверхности болотной воды довольно неопределенное, в отличие от положения уровня воды в скважине на торфяном болоте. Болотная вода может образовывать вместе с ее капиллярным поднятием сложную форму поверхности, и соответственно, сложную форму границ распространения нефти.

В целом схема действия засыпки показана на рис. 15, 16. Последовательность этапов по восстановлению болота методом засыпки подсушенным торфом представлена на рис. 17 (см. цв. вклейку), а окончательный облик площадок представлен на рис. 18 (см. цв. вклейку).

Рис. 15. Схема начального заложения площадки

Рис. 16. Схема четырехлетней площадки в профиль

В хронологическом порядке последовательность операций выглядела следующим образом: 9.08.05 г. – разбивка площадок; 23.08.05 г. – нанесение нефти на площадки; 23.08.05 г. – нанесение торфяных засыпок; 09.09.05 г. – первый отбор проб на анализы, 17 дней; 11.11.05 г. – второй отбор проб на анализы, 80 дней; 20.04.06 г. – третий отбор проб на анализы, 240 дней; 27.06.06 г. – четвертый отбор проб на анализы, 308 дней; 21.10.06 г. – пятый отбор проб на анализы, 434 дня; 09.09.07 г. – шестой отбор на анализы, 760 дней; 08.05.08 г. – седьмой отбор на анализы, 979 дней, и далее каждый год.

Отбор проб выполняли с площадок 1.1–1.4, 2.1–2.4 с помощью полого цилиндра высотой ≈ 30 см и диаметром ≈ 15 см. Цилиндр заглубляли в засыпку по центру площадки до деятельного (торфогенного) слоя, вручную выбирали торф, одновременно контролируя глубину выбора с помощью рулетки. Пробы на анализ отбирали из слоя над загрязненным нефтью торфогенным слоем, из слоя дернины и под ним. Для прохождения волокнистого слоя использовали нож для обрезки волокон растений по диаметру цилиндра.

Пробы маркировали и упаковывали в чистые полиэтиленовые мешочки (на микробиологию) и в обезжиренные стеклянные банки (для определения содержания нефти). После отбора проб оставшийся торф в обратном порядке засыпали в цилиндр, а на дневную поверхность засыпки добавляли свежий фрезерный торф. Место отбора отмечали вешкой.

На площадках К, $К_1$ и $К_2$ брали контрольные пробы.

Таким образом, количество проб составляло по 19 на каждый вид анализа.

Пробы на микробиологический анализ сразу же после доставки в лабораторию помещали в морозильную камеру, после чего передавали на анализ в микробиологическую лабораторию.

Степень разложения и ботанический состав оценивали микроскопическим методом. Из общетехнических свойств определяли влажность, зольность, плотность (насыпная и в залежи), кислотность (водная и солевая вытяжка).

2.5.5. Динамика микрофлоры[17]

К концу **первого периода** (стадия формирования устойчивого микробиоценоза) наблюдений (5-й отбор – окт. 2006 г.) после отмеченного всплеска летней активности микрофлоры (июнь 2006 г.) по всем вариантам (за некоторым исключением) наблюдали следующие тенденции:

- снижение численности аммонифицирующих микроорганизмов;
- снижение численности бацилл;

[17] В разделе использованы материалы исследований проф., д. б. н. Г.Ю. Рабинович в соответствии с техническим заданием.

- снижение численности микроорганизмов, способных использовать минеральные формы азота;
- снижение численности плесневых грибов;
- снижение численности микроорганизмов, способных к разрушению парафинов;
- увеличение численности денитрифицирующей микрофлоры;
- увеличение численности анаэробных азотфиксаторов;
- увеличение уровня пероксидазной активности.

Относительно автохтонной микрофлоры наблюдали увеличение ее численности в вариантах засыпок на параллельных участках – 1.1–1.4 (1) и 2.1–2.4 (2) и преимущественное снижение их численности в вариантах залежи. На изменение численности микрофлоры различных физиологических групп и их активности безусловное влияние оказывали изменения физико-химических параметров среды обитания – за счет загрязнителя и вариации уровня влажности и кислотности.

Статистическую обработку выполняли для обнаружения связей между отдельными показателями. С этой целью анализировали наиболее значимые показатели, найденные для вариантов залежи, относящихся к завершающему этапу наблюдений (2009 г.). Связь между отдельными показателями устанавливали за счет использования программного пакета *StatGraphicx* и статистических функций пакета *Excel*. Найденные математические зависимости лишь подтверждают имеющиеся выводы и свойственны для идентично или антибатно изменяющихся показателей.

Так, была обнаружена тесная корреляционная связь между количеством автохтонных микроорганизмов и грибов ($r = +0{,}94$), а также между количеством автохтонных микроорганизмов и микроорганизмов, разрушающих парафины ($r = +0{,}71$).

Изменение активности фермента пероксидазы в значительной степени определяют парафиноразрушающие микроорганизмы, что описывается уравнением регрессии с коэффициентом корреляции $r = +0{,}91$. Также наблюдается связь активности пероксидазы и ОВК (окислительно-восстановительный коэффициент), определяя фактически общую направленность процессов распада и синтеза как присущих торфянику соединений, так и привнесенных в него ($r = +0{,}66$).

Следует отметить, что при рассмотрении результатов конечного этапа наблюдений достоверных связей между отдельными представителями азоттрансформирующего микробиоценоза выявить не удалось, однако определенные тенденции наблюдали.

Констатация изменения численности микрофлоры или показателей, характеризующих ту или иную сторону ее активности, в конце каждого

или даже последнего периода наблюдений вряд ли является основополагающей для полноценного установления влияния нефтезагрязнения на микрофлору торфяного болота. Дело в том, что кратковременные флуктуации численности микрофлоры могут возникнуть даже в течение нескольких часов, поэтому более или менее реальную картину влияния уровня нефтезагрязнения на микробиоценоз торфяника можно получить путем сравнительной оценки средних значений, выявленных для каждого показателя за год наблюдений.

Годичный период наблюдений показал, что наименьшая численность аммонифицирующих микроорганизмов была обнаружена в вариантах засыпок, располагающихся на обоих участках с повышенными дозами нефтезагрязнения (10 и 15 л/м^2). В то же время в залежи численность микроорганизмов этой группы увеличивалась с повышением концентрации нефтезагрязнения (особенно четко на участке 1). Последнее можно связать с тем, что в торфяных почвах с устоявшимся динамическим равновесием аммонифицирующая микрофлора развивается очень неактивно, в то же время побудительным фактором ее развития может стать введение дополнительных источников питания (в том числе нефтяного загрязнения). На развитие аммонификаторов эффективное воздействие оказало изменение влажности, связь достоверно положительная (r = +0,62).

Споровые бактерии (бациллы) способны к трансформации тех же соединений, что и аммонифицирующая микрофлора. Фактически, это часть аммонификаторов, способная образовывать споры для выживания в экстремальных условиях, поэтому между численностью бацилл и влажностью торфяной почвы связь достоверно отрицательная (r = –0,49). Годичный период наблюдений за микроорганизмами этой группы показал, что их реакция была крайне неоднозначной. Так, количество бацилл в засыпке оказалось наибольшим при низком уровне нефтезагрязнения (3 л/м^2), но только на участке 1, а в залежи наблюдали тенденцию увеличения их численности при повышении нефтезагрязнения. Тем не менее при уровне нефтезагрязнения 15 л/м^2 количество бацилл в залежи не оказалось высоким. Следовательно, аммонифицирующая микрофлора на площадках с повышенным нефтезагрязнением оказалась довольно устойчивой, именно поэтому в них и не наблюдали высокого содержания бацилл по сравнению с вегетативными клетками аммонификаторов. Достоверная корреляционная связь между численностью аммонификаторов и бацилл (при сравнении вариантов засыпок и залежей) описывается экспоненциальным уравнением регрессии (R = 0,53).

В целом для микроорганизмов, способных использовать минеральные формы азота (иммобилизаторов этого элемента), обнаружили те же, что и для аммонификаторов, зависимости развития от концентрации нефтезагрязнения. При этом связь с изменением уровня влажности, как и в случае с аммонификаторами, была достоверной (R = 0,80), подчиняясь экспоненциальному закону.

Численность микроорганизмов, способных использовать минеральные формы азота, в засыпках уменьшалась при повышении уровня нефтезагрязнения (исключение – вариант с уровнем нефтезагрязнения 3 л/м^2 на участке 2), а в залежи – обратная зависимость (повышение численности, хотя и неравномерное). Вообще аммонификаторы и микроорганизмы, способные использовать минеральные формы азота – спутники, так как активная жизнедеятельность аммонифицирующего микробиоценоза обычно сопровождается активизацией микроорганизмов-иммобилизаторов. Между средними значениями численности аммонифицирующей микрофлоры, развивающейся в течение года в засыпках и залежи торфяной почвы, и микроорганизмами, способными использовать минеральные формы азота, была установлена тесная связь, описываемая линейным уравнением регрессии (r = +0,92).

Наряду с микрофлорой, закрепляющей азот, в торфяной почве (особенно при повышенной влажности и недостатке кислородообеспечения) развивается денитрифицирующая микрофлора, благодаря которой почвы активно теряют азот в аммиачной и молекулярной формах. Несмотря на конкурентные взаимоотношения связь между численностью обеих групп достоверная (R = 0,57) и описывается линейным уравнением регрессии. Наименьшее количество микроорганизмов этой группы было обнаружено в варианте засыпки с низким уровнем нефтезагрязнения (3 л/м^2), однако невысокая численность денитрификаторов была найдена и в некоторых вариантах засыпок, располагающихся на участках с повышенными концентрациями нефтезагрязнения. В залежи численность микроорганизмов этой группы оказалась наибольшей в вариантах участка 2 с высоким уровнем нефтезагрязнения (10 и 15 л/м^2), на участке 1 подобную зависимость не обнаружили. Численность денитрификаторов в значительной степени была связана с изменением уровня влажности (r = +0,58).

Потери азота, по-видимому, компенсируются интенсивной анаэробной азотфиксацией. Во всяком случае, в вариантах участка 2 с повышенным нефтезагрязнением развитие микроорганизмов этой группы максимальное, а связь между количеством микроорганизмов этих групп достаточно тесная и описывается уравнением регрессии (r = +0,69). Кроме того, развитие анаэробных азотфиксаторов также тесно связано с изменением влажности торфяника, связь между этими показателями линейная (r = +0,74).

Таким образом, *несмотря на неоднозначную реакцию азоттрансформирующего микробиоценоза на различные концентрации нефтезагрязнения, следует отметить одну важную особенность: развитие большин-*

ства микроорганизмов, принадлежащих к нему, оказалось интенсивнее при повышенной концентрации нефтезагрязнения. Этот факт, очевидно, является свидетельством того, что азоттрансформирующая микрофлора использует вещество-поллютант (нефть) в качестве источника энергии. Всплеск активности аммонификаторов влечет за собою цепочку активной деятельности других представителей азоттрансформирующего ценоза, ускоряя процессы рекультивации загрязненных участков.

Относительно грибов следует отметить практически четкое понижение их численности в вариантах залежи с повышением концентрации нефтезагрязнения. При этом грибное население засыпок на участке 1 при повышении концентрации нефтезагрязнения также уменьшается, а на участке 2 количество грибов минимально при уровне нефтезагрязнения 5 л/м^2 и максимально при высоких концентрациях нефтезагрязнения в подстилающих участках. Обнаружена отрицательная корреляционная связь (r = –0,67) между численностью грибов и влажностью изучаемых участков.

Динамика автохтонной микрофлоры в вариантах засыпок очень близка к динамике грибной, однако в залежи она неоднозначна. Наибольшая численность автохтонных микроорганизмов обнаруживается при низких уровнях загрязнения (для участка 1 – при 3 л/м^2, для участка 2 – при 5 л/м^2). На развитие микроорганизмов этой группы активное воздействие оказывала динамика влажности среды, связь между ними достоверно положительная (r = +0,74).

Представители этой физиологической группы являются резидентами почвы, поэтому их численность будет стремиться к некоей присущей данной почве величине. По-видимому, повышенный фон нефтезагрязнения является фактором, сдерживающим этот процесс. Между численностью грибного населения и численностью автохтонной микрофлоры обнаружена отрицательная корреляционная связь (r = –0,52). Отрицательный коэффициент корреляции (r= –0,64) связывает численность автохтонных микроорганизмов с ОВК, но с активностью фермента пероксидазы связь с автохтонной микрофлорой достоверно положительная (r = +0,78).

Микроорганизмы, разрушающие парафины – сборная группа, искусственно воссозданная нами на питательной среде, в которой источником углерода для тестируемой микрофлоры являются парафины – фракции нефти. Обнаружено, что с повышением концентрации нефтезагрязнения в залежи обоих участков 1 и 2 количество парафиноразрушающих микроорганизмов возрастает (исключение – вариант с уровнем нефтезагрязнения 10 л/м^2 участка 2). В то же время в засыпках с уровнем нефтезагрязнения 10 л/м^2 численность парафиноразрушающей микрофлоры снижается на обоих участках. Возможно, что коррективы вносят изменяющиеся

физико-химические параметры (ω, pH), преимущественно превосходящие по этим показателям прочие варианты засыпок и залежей. Следует отметить, что численность микроорганизмов этой группы во всех вариантах залежи обоих участков обычно превышала их численность в вариантах засыпок.

Несмотря на весьма важный тестовый характер парафиноразрушителей, достоверных связей между их численностью и численностью других микроорганизмов обнаружить не удалось. Однако была выявлена близкая к достоверной связь парафиноразрушающей микрофлоры с активностью фермента пероксидазы (r = +0,39), а также связь этих микроорганизмов с влажностью (r = 0,44). Скорее всего, связь сборной группы (имеющей отношение к разным физиологическим группам микрофлоры) с параллельно определяемыми показателями подчиняется более сложным законам мультирегрессии.

Таким образом, *относительно углеродтрансформирующего микробиоценоза, способного к разрушению сложных полициклических соединений, к которым относятся и фракции нефти, следует отметить, что и грибы, и автохтонные микроорганизмы в вариантах залежи не обнаруживают высокой численности с повышением концентрации нефтезагрязнения.* Возможно, сказывается повышенный уровень анаэробиоза, особенно неблагоприятный для грибов. *Вместе с тем высокую численность демонстрируют парафиноразрушающие микроорганизмы, относящиеся к разным физиологическим группам, но одинаково использующие фракции нефти в качестве источника питания и энергии.*

Активность фермента пероксидазы показывает эффективность удаления из субстрата перекисных соединений, образующихся в результате распада высокомолекулярных соединений, в том числе токсичных, а также свидетельствует о процессах распада гумусовых или гумусоподобных соединений. Сравнивая варианты засыпок, отметим, что активность данного фермента возрастает при повышении концентрации нефтезагрязнения (наблюдаемые отклонения крайне несущественны). В то же время максимум активности данного фермента наблюдали для варианта залежи с низким уровнем нефтезагрязнения – 3 л/м^2, в других вариантах активность пероксидазы была практически идентична на обоих участках.

Вообще активность фермента пероксидазы обнаружила тесную достоверную взаимосвязь с показателями, вместе с нею отвечающими за трансформацию сложных циклических соединений, в том числе гумуса. Как уже было показано, положительная корреляционная связь была установлена между активностью пероксидазы и автохтонными микроорганизмами. Связь активности фермента пероксидазы с ОВК, а также с численностью грибов оказалась достоверно отрицательной (r_1 = –0,89 и r_2 = –0,56). Близ-

кая к достоверной связь была выявлена между активностью пероксидазы и численностью аммонифицирующей микрофлоры и парафиноразрушающими микроорганизмами (о последней говорилось выше).

Следует отметить высокий уровень связи активности фермента пероксидазы с влажностью (r = +0,93).

Условный коэффициент минерализации по азоту (соотношение численности амилолитических и аммонифицирующих микроорганизмов) оказался максимальным в варианте засыпки, расположенной на участке с уровнем нефтезагрязнения 3 л/м^2, в залежи участка 2 – также при уровне 3 л/м^2, а в залежи участка 1 – при уровне 5 л/м^2.

Окислительно-восстановительный коэффициент (соотношение условных величин активностей оксидоредуктаз каталазы и дегидрогеназы) в вариантах засыпок дает максимальную величину при уровне нефтезагрязнения 3 л/м^2 для участка 1 и 5 л/м^2 для участка 2, а в вариантах залежи максимален при уровне нефтезагрязнения 5 л/м^2.

В целом общие биологические показатели свидетельствуют о большей интенсивности процессов трансформации в вариантах засыпок и залежей при низких уровнях нефтезагрязнения (3 или 5 л/м^2).

Таким образом, *высокая численность микрофлоры в вариантах с повышенным уровнем нефтезагрязнения не подкрепляется интенсивностью (или напряженностью) процессов, отражающих те или иные стороны общебиологических превращений. Следовательно, процессы распада нефти в них еще могут усилиться и пройти дополнительный трансформационный цикл, прежде чем в торфянике установятся присущие ему микробный пул и уровень гомеостаза.*

На **втором этапе** исследований в 2007–2008 гг., когда по прогнозу система восстановительных мероприятий должна начать давать реальную отдачу, был проведен скрининг микрофлоры контрольных и загрязненных участков.

К концу 2008 г. численность аммонификаторов в вариантах залежи под засыпками с уровнем нефтезагрязнения 5 и 10 л/м^2 (1,36 млн/г и 1,56 млн/г соответственно) приблизилась к численности микроорганизмов этой группы в варианте опыта с чистой залежью (1,6 млн/г). Ранее подобное сближение с контрольным вариантом наблюдали при низком уровне нефтезагрязнения (3 л/м^2). В то же время уровень аммонификаторов, хорошо переносящих нефтезагрязнение, остался высоким в варианте с уровнем нефтезагрязнения 15 л/м^2 в залежи под засыпкой, а также во всех нефтезагрязненных вариантах, находящихся без торфяной засыпки, причем разница с контролем (чистой залежью) достигала в этот период в среднем 3 раза. *Таким образом, во всех вариантах нефтезагрязненной залежи без применения засыпок, а также в варианте с уровнем нефтезагрязнения*

15 л/м^2 процессы рекультивации идут гораздо медленнее, что и провоцирует в конечном итоге развитие аммонификаторов.

Если в начале 2007 г. вариант с чистой залежью характеризовался самым высоким содержанием амилолитических микроорганизмов, при этом все нефтезагрязненные варианты залежи, как рекультивируемые, так и не имеющие засыпок, существенно уступали ему по численности микроорганизмов этой группы, то к концу 2008 г. численность амилолитической микрофлоры в варианте с чистой залежью оказалась сопоставима с другими вариантами и наиболее близка вариантам с низким уровнем нефтезагрязнения (5 л/м^2), как с засыпкой, так и без нее.

Засыпка над чистой залежью, как и в случае с аммонификаторами, имела динамику амилолитических микроорганизмов, отличную от вариантов засыпки, расположенных над нефтезагрязненной залежью. В начале 2007 г. наибольшая численность амилолитической микрофлоры была обнаружена в вариантах засыпки над залежью с уровнем нефтезагрязнения 10 и 15 л/м^2. Осенью 2008 г. численность микроорганизмов этой группы выравнялась по всем вариантам, но наиболее близким к контролю оказался вариант засыпки над залежью с уровнем нефтезагрязнения 5 л/м^2.

Таким образом, амилолитическая микрофлора спустя 4 года обнаружила способность к восстановлению своей численности, приближающейся к контрольным вариантам, в вариантах с низким уровнем нефтезагрязнения.

В связи с тем что варианты с высоким уровнем нефтезагрязнения характеризуются повышенным содержанием питательных веществ, трансформируемых аммонификаторами, в том числе бациллами, имеющими прямое отношение к микроорганизмам вышерассмотренной группы, но отличающимися способностью образовывать споры, низкое содержание к концу эксперимента бацилл в варианте с уровнем нефтезагрязнения 15 л/м^2 с засыпкой, а также во всех нефтезагрязненных вариантах залежи в отсутствие засыпок означает, что присутствие нефти способствует сохранению большей части аммонифицирующей микрофлоры в вегетативной форме. Обращает на себя внимание наибольшее количество бацилл в варианте с чистой залежью осенью 2008 г., а также близкие значения к контролю в вариантах – рекультивируемая залежь с 5 и 10 л/м^2 нефти.

Относительно развития бацилл в различных вариантах засыпок торфяного болота в 2007–2008 гг. следует отметить неизменно низкое их содержание в варианте засыпки, располагающейся над залежью с самым высоким уровнем нефтезагрязнения 15 л/м^2, что, безусловно, как и в случае с вариантами нефтезагрязненной залежи, связано с присутствием большого количества элементов питания для аммонифицирующих микроорганизмов, предпочитающих оставаться в вегетативной форме.

Итак, количество бацилл к концу эксперимента оказалось наименьшим в вариантах с повышенным уровнем нефтезагрязнения, что связано с аммонифицирующей природой жизнедеятельности этой группы, сохраняющей вегетативную форму при наличии достаточных субстратов для своего развития.

К концу эксперимента (2008 г.) *количество грибов оказалось наименьшим в вариантах залежи с уровнями нефтезагрязнения 10 и 15 л/м² (без применения торфяных засыпок).* Это свидетельствует о том, что в вариантах с длительно сохраняющимся высоким уровнем загрязнения создаются условия, неблагоприятные для развития грибной флоры. Если учесть, что такие показатели, как влажность и реакция среды, на протяжении всего периода наблюдений практически не отличались от контроля в большинстве вариантов нефтезагрязненной залежи, то фактором, лимитирующим развитие грибов в ней, является, очевидно, кислородное голодание, провоцируемое сорбированной нефтью. В то же время в вариантах рекультивируемой засыпками залежи даже при высоких уровнях нефтезагрязнения наблюдается восстановление грибной флоры, причем в варианте с уровнем нефтезагрязнения 5 л/м² их количество к концу 2008 г. превысило контрольный вариант более чем в 2 раза (630 тыс./г против 280).

Относительно развития грибов в 2008 г. в вариантах засыпок над нефтезагрязненными участками следует отметить, что их суммарное количество (по двум отборам) отличалось следующим образом: в засыпке над чистой залежью – 610 тыс./г; в засыпке над залежью с 5 л/м² нефти – 830; в засыпке над залежью с 10 л/м² нефти – 620; в засыпке над залежью с 15 л/м² нефти – 500. *Таким образом, лишь в варианте засыпки над залежью с уровнем загрязнения 15 л/м² была обнаружена меньшая по сравнению с контролем суммарная численность микроскопических грибов, что указывает на продолжающееся поступление в этот вариант токсичной для грибов нефти.*

В 2007–2008 гг. динамика микроорганизмов, способных разрушать парафины, как во всех сравниваемых вариантах залежи, так и в вариантах засыпок, была, за небольшим исключением, почти идентичной. Однако разброс абсолютных величин микроорганизмов, трансформирующих парафины, был все же существенным, причем к контрольному варианту – чистой залежи – приблизились рекультивируемые варианты (с засыпками), в меньшей степени – вариант с уровнем нефтезагрязнения 10 л/м². При этом следует отметить, что все варианты залежи без засыпок по сравнению с идентичными им вариантами с применением засыпок характеризовались гораздо меньшим содержанием микроорганизмов, способных к использованию парафинов.

В вариантах засыпок, расположенных над нефтезагрязненными участками залежи, количество парафиноразрушающих микроорганизмов в 2007–2008 гг. во всех случаях превысило контроль, что, впрочем, происходило и на более ранних этапах эксперимента. Их суммарное количество (по четырем отборам) отличалось следующим образом: в засыпке над чистой залежью – 2083 тыс./г; в засыпке над залежью с 5 л/м² нефти – 2955; в засыпке над залежью с 10 л/м² нефти – 3073; в засыпке над залежью с 15 л/м² нефти – 2794.

Таким образом, роль засыпок очевидна – они, как губка, впитывают в себя нефть с адсорбированными на них парафиноразрушающими и другими микроорганизмами, которые, в свою очередь, обеспечивают эффективное разрушение поллютанта.

ОВК – окислительно-восстановительный коэффициент, свидетельствующий об общем уровне процессов распада-разложения, происходящих в тестируемых субстратах.

Безусловно, что к концу эксперимента большую напряженность процессов распада–синтеза продемонстрировали все нефтезагрязненные варианты без засыпок, т. е. в данный период (осень 2008 г.) в них активизировались процессы трансформации. В варианте нефтезагрязненной залежи 15 л/м² под засыпкой уровень ОВК к концу эксперимента оставался довольно высоким по отношению к контролю, а в вариантах нефтезагрязненной залежи 5 и 10 л/м² под засыпками процессы трансформации приближались к уровню чистой залежи. В самих засыпках, расположенных над участками залежи с уровнем нефтезагрязнения 10 и 15 л/м², напряженность окислительно-восстановительных процессов оказалась выше, чем в засыпке над чистой залежью, и выше засыпки, загрязненной 5 л/м² нефти.

Спустя 4 года от начала эксперимента в рекультивируемой нефтезагрязненной залежи наблюдается тенденция к восстановлению микробиологической деятельности. Прежде всего это касается вариантов с низким уровнем нефтезагрязнения. Если восстановление жизнедеятельности микрофлоры в варианте с уровнем нефтезагрязнения 3 л/м² отмечали еще в 2007 г., то в 2008 г. такой же эффект обнаружили относительно варианта с уровнем нефтезагрязнения 5 л/м² и частично при более высоких уровнях нефтезагрязнения.

Положительная динамика восстановления микробиологической деятельности в варианте с уровнем нефтезагрязнения 5 л/м² наблюдается по нескольким физиологическим группам микроорганизмов: по амилолитической микрофлоре, которая, иммобилизуя азот, в конечном счете способствует восстановлению растительного покрова нефтезагрязненного торфяного болота, по грибам и парафиноразрушающей группе.

Во всех вариантах нефтезагрязненной залежи без применения торфяных засыпок, а также в варианте с уровнем нефтезагрязнения 15 л/м² с засыпкой процессы рекультивации идут гораздо медленнее, что провоцирует развитие аммонификаторов, хорошо переносящих высокий уровень нефтезагрязнения, а также бацилл, имеющих аммонифицирующую природу жизнедеятельности и сохраняющих, как большинство аммонифицирующих микроорганизмов, вегетативную форму при наличии достаточных субстратов для своего развития.

Интегральным показателем, характеризующим общую напряженность процессов распада–синтеза как в вариантах залежи, так и в вариантах засыпок, является ОВК. Высокий в сравнении с контролем уровень ОВК обычно свидетельствует об активно протекающих на данный момент времени процессах окисления, а именно о том, что в субстрате присутствует большое количество неутилизированных высокомолекулярных веществ (в том числе фракций нефти), подвергаемых окислению. Данный тезис подтверждается выявлением высоких значений ОВК в нерекультивируемых вариантах нефтезагрязненной залежи, а также в рекультивируемой залежи с повышенным уровнем нефтезагрязнения 15 л/м². Дополнительным свидетельством эффективной работы торфяных засыпок в качестве рекультивирующей системы является обнаружение в тех из них, которые расположены над участками залежи с высоким уровнем нефтезагрязнения – 10 и 15 л/м², более активно протекающих окислительных процессов (ОВК засыпок 10 и 15 л/м² > ОВК засыпки 5 л/м² > ОВК чистой засыпки), что указывает на существующие на данном этапе различия в скорости извлечения из залежи нефти.

2.5.6. Динамика нефтесодержания[18]

Концентрации нефтепродуктов (НП) в образцах анализировались флюориметрическим методом по упрощенной пробоподготовке согласно ПНД Ф 16.1.21-98 Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв на анализаторе жидкости «Флюорат-02», Москва, 1998 (издание 2002 г.)

Упрощенная пробоподготовка используется для случая свежезагрязненных и фоновых (незагрязненных) проб.

Учитывая наличие в торфе органических веществ, извлекаемых гексаном (при упрощенной пробоподготовке) и способных повлиять на результаты определения содержания искусственно внесенных углеводородов, выполнен анализ их содержания в исходной торфяной засыпке (фон).

[18] В разделе использованы материалы исследований к. т. н. В.В. Левинского.

Погрешность флюориметрического определения НП в почве для доверительной вероятности Р = 0,95 составляет:

- при концентрации НП 0,005–0,25 мг/г – 45%;
- при концентрации НП 0,25–20 мг/г включительно – 35%.

Методика не обеспечивает определения указанных характеристик при определении легких фракций нефтепродуктов, а также индивидуальных соединений, входящих в их состав.

При анализе образцов в связи с высокими концентрациями нефти, выходящими за диапазон работы ПНД Ф, использовалось гравиметрическое определение выделенных из торфа нефтепродуктов, для чего весь объем раствора нефти в гексане помещался в предварительно взвешенный бюкс и упаривался при комнатной температуре до постоянной массы. По разнице масс определяли содержание нефти в навеске торфа. Погрешность определения НП не ниже 35%. Параллельный анализ не проводился.

Особенностью торфа является высокое содержание влаги. Анализы на содержание нефтепродуктов проводятся на образцах, высушенных естественным путем до равновесной влажности (рис. 19–21). Знание динамики изменения массы торфа при сушке позволяет оценивать содержание нефтепродуктов на единицу массы воздушно-сухого торфа или влажного.

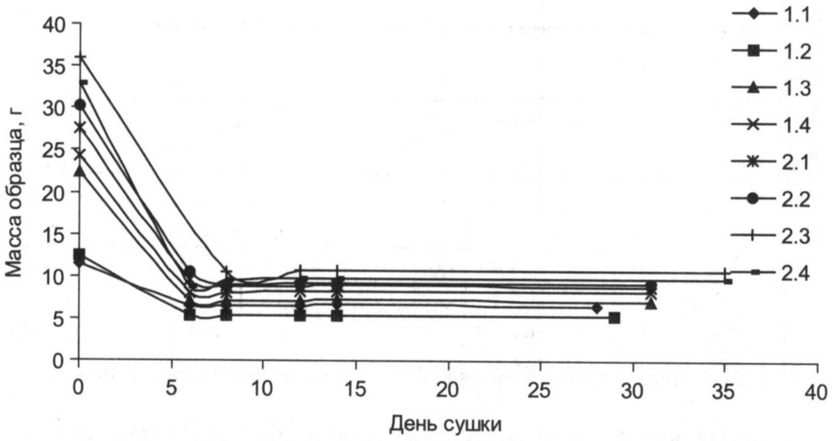

Рис. 19. Кинетика сушки образцов торфа (засыпка).
Условные обозначения – номера площадок (рис. 12)

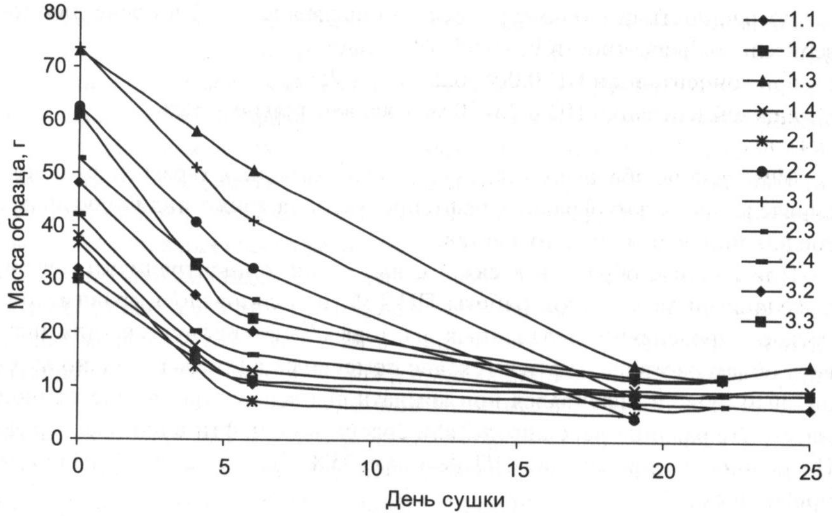

Рис. 20. Кинетика сушки образцов торфа (залежь под засыпкой)

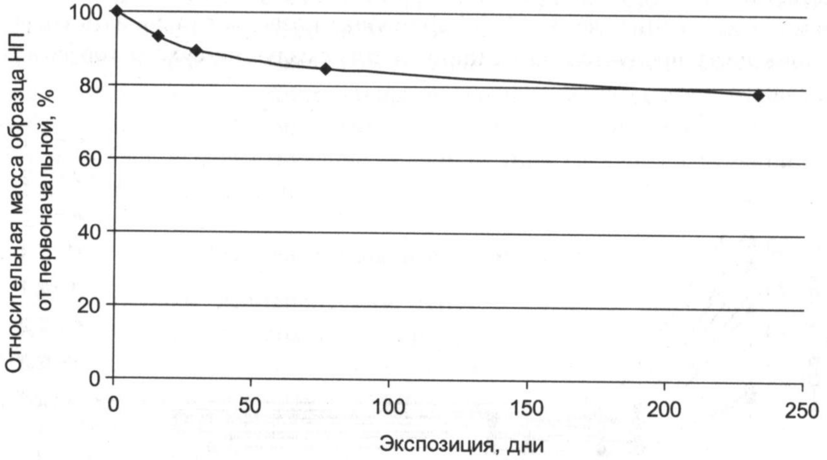

Рис. 21. Потеря летучих веществ нефти при подготовке образца к анализу

За время достижения равновесной влажности (7 дней) (рис. 20) доля испарившихся летучих фракций нефтепродуктов невелика и не превысила 5% (рис. 21).

Обобщение результатов анализов всех серий исследований представлено в сводной табл. 24.

Таблица 24

Содержание нефти в торфяной залежи и слое засыпки

Давность разлива, дни	**Исходное содержание влаги в засыпке, %**	**Концентрация нефти в торфе, мг/г в.-с. в.**							
		3 л/м²		**5 л/м²**		**10 л/м²**		**15 л/м²**	
		Залежь	**Засыпка**	**Залежь**	**Засыпка**	**Залежь**	**Засыпка**	**Залежь**	**Засыпка**
Торфяная засыпка (фон)	40	0,22 (0,28 на 308-й день)							
	55	0,17 (0,32 на 308-й день)							
	Среднее	0,195 (0,30 на 385-й день)							
	40	0,31 (на 1083-й день)							
Торфяная залежь (фон)	40	0,31 (на 1083-й день)							
17	40	106	6,15	45	1,61	169	1,27	453	3,15
	55	210	1,48	260	3,63	349	1,39	547	6,09
	Среднее	158	3,81	152,5	2,62	259	1,33	500	4,62
80	40	26,2	21,2	26,9	5,5	485,4	9,2	179,7	6,9
	55	24,7	7,5	40,4	22,2	519	10,9	353,7	57,8
	Среднее	25,4	14,4	33,6	13,8	502,2	10,0	266,7	32,4
240	40	217	0,4	120	0,83	253	0,24	531	3,03
	55	80	2,07	23	3,87	320	2,79	505	28,7
	Среднее	148,5	1,24	71,5	2,35	286,5	1,52	518	15,9
	Контроль без засыпки			227		545		606	
308	40	8,3	7,0	212	3,7	354	7,7	355	4,1
	55	102	0,5	385	3,4	315	1,8	449	8,2
	Среднее	55,2	3,8	298,5	3,6	334,5	4,75	402	6,2
	Контроль без засыпки			208		490		625	
434	40	183	1,7	229	4,1	381	3,1	407	30,8
	55	213	5,7	291	4,7	373	6,5	333	21,7
	Среднее	198	3,7	260	4,4	377	4,8	370	26,3
624	40	210	17,6	252	33,8	353	17,9	547	15,7
	Залежь без засыпки			392		650		965	

Окончание табл. 24

Давность разлива, дни	Исходное содержание влаги в засыпке, %	Концентрация нефти в торфе, мг/г в.-с. в.							
		3 л/м²		5 л/м²		10 л/м²		15 л/м²	
		Залежь	Засыпка	Залежь	Засыпка	Залежь	Засыпка	Залежь	Засыпка
760	40	14	4,6	643	9,7	441	5,2	241	4,8
	Залежь без засыпки			397		668		544	
979	40	122	1,6	232	10,6	248	66	202	60
	Залежь без засыпки			427		513		512	
1083	40	58	13	264	57	284	26	390	25
	Залежь без засыпки			467		614		566	
1360	40	220,9	31,6	210,9	24,5	399,5	26	370,7	38,1
	Залежь без засыпки			445,9		527,2		484,3	
2217	40	69	10	273	22	271	10	280	17
	Залежь без засыпки			430		589		531	

Концентрация нефти в зависимости от давности разлива закономерно снижается для торфяной залежи и возрастает для слоя засыпки. В контрольном опыте без засыпки концентрация нефти устойчиво выше, чем в опытах с засыпкой (табл. 24). Так, при заливке 10 л нефти на 1 м^2 на 240-й день концентрация нефти в деятельном слое торфяной залежи в опыте с засыпкой составляла 286,5 мг/г в.-с.в. против 545 мг/г в.-с.в. в опыте без засыпки. На 308-й день концентрации имели значения 334,5 и 490 мг/г в.-с.в. соответственно. При заливке 15 л/м^2 концентрация на 240-й день в слое торфяной залежи с засыпкой составила 518 мг/г в.-с.в. против 606 мг/г. в.-с.в. в опыте без засыпки. На 308-й день концентрации составили 402 и 625 мг/г в.-с.в. соответственно.

Количество нефти, переходящей из торфяной залежи в слой засыпки, зависит от положения засыпки, которая постепенно «погружается» в деятельный слой залежи, и уровня болотных вод.

При заливке нефти 10 л/м^2 концентрация возрастает на 80-й день до 500 г/кг в.-с. в. торфа, снижаясь далее до 300–380. Такие пики соответствуют подъему уровня болотных вод. Причем при подъеме УБВ торфяная засыпка принимает также больше нефти. Содержание нефти в торфяной засыпке начиная с 240-го дня после разлива стабилизируется на уровне 5 г/кг в.с. торфа. При низких УБВ (более 10 см) в слой засыпки переходит от 2 до 10% нефти.

Изменение концентрации нефти в слое торфяной залежи в зависимости от давности разлива (рис. 22) имеет волновой характер с посте-

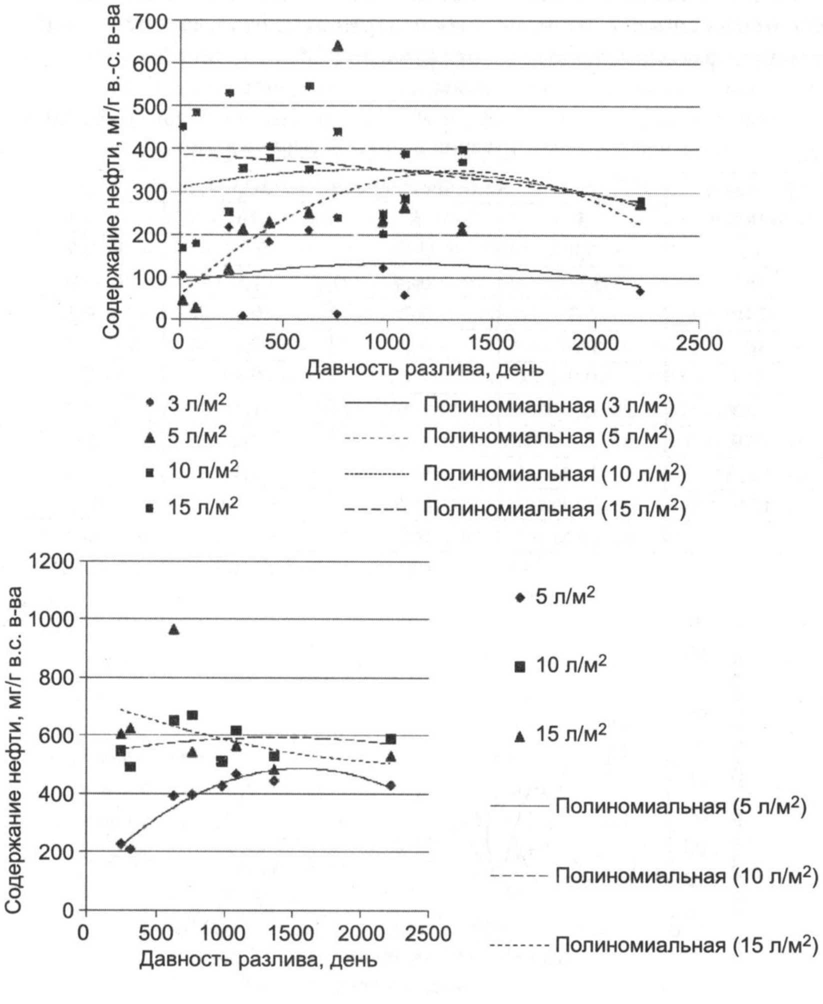

Рис. 22. Содержание нефти в торфяной залежи (вверху) и динамика содержания нефтепродуктов на площадках без засыпки (внизу)

пенным затуханием амплитуды колебаний и снижением содержания нефти. На площадках без засыпки концентрация нефти также показывает волновой характер с затуханием и сглаживанием различий площадок с разным уровнем загрязнения. Разница в содержании нефти на площадках с торфяной засыпкой и без нее с максимальным загрязнением достигла 30–50%. Фоновое содержание «нефтепродуктов» составило 0,005%.

Для выяснения причин волновой зависимости нефтесодержания составим зависимость отношения концентрации нефти в засыпке к концентрации нефти в залежи и давности разлива (табл. 25, рис. 23).

Таблица 25

Отношение концентраций нефти в засыпке к залежи, %

Давность разлива, дни	Количество разлитой нефти, л/м²			
	3	5	10	15
17	5,8	3,6	0,75	0,7
80	80,9	20,4	1,9	3,8
240	0,2	0,7	0,1	0,6
308	84,4	1,7	2,2	1,2
434	0,9	1,8	0,8	75,7
760	32,9	1,5	1,1	2,0
979	1,3	4,6	26,6	29,7
1083	22,4	21,6	9,1	6,4
1360	14,3	11,6	6,5	10,3
2217	14,5	8,1	3,7	6,1

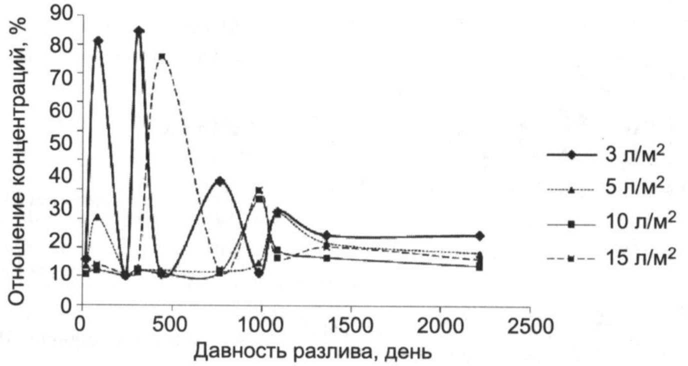

Рис. 23. Влияние давности разлива на отношение концентрации нефти в засыпке к концентрации нефти в торфяной залежи

Привлекает внимание тот факт, что за 6 лет это отношение имеет три характерных периода, каждый протяженностью 2 года. Первый период при высоком положении засыпки и незначительном влиянии на засыпку уровня болотных вод характеризуется неравномерным взаимодействием засыпки и торфяной залежи. По этой причине возникает неравномерное загрязнение засыпки, зависящее от замазученности залежи. Эта связь увеличивается во второй двухлетний период. Амплитуда разброса данных снижается в два и более раз.

Третий период характеризуется минимальными изменениями отношения концентраций и их сближением для площадок с разным уровнем загрязнения. В этот период засыпка практически сравнялась с поверхностью залежи (деятельного слоя), и уровень болотных вод формально ведет себя так же, как и в окружающей засыпку залежи. Можно предположить, что по мере формирования системы «засыпка–залежь» под влиянием УБВ при условии погружения засыпки распределение в ней нефти стремится к некоторой постоянной. Эта постоянная отношения концентраций в засыпке и залежи составляет приблизительно 10 (±5)% или условно 1:10.

Первые периоды количество нефти, переходящей из торфяной залежи в слой засыпки, постепенно увеличивается в зависимости от динамики уровня болотных вод (рис. 24). Содержание нефти в торфяной засыпке начиная с 308-го дня после разлива прогрессивно увеличивается с 5 г/кг до 40 г/кг в.-с. в. торфа. Исключение составляет участок с минимальным загрязнением. Начиная с 4-го года концентрация нефти в засыпке показывает тенденцию к снижению, не зависимую от начальной степени загрязнения нефтью. Это, по-видимому, указывает на влияние биохимических процессов деструкции нефти на ее содержание.

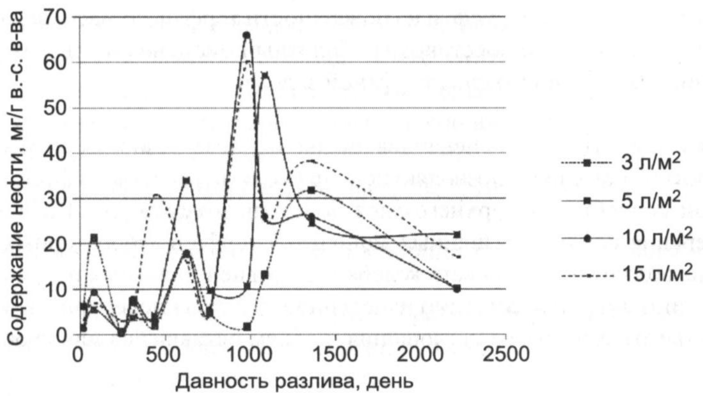

Рис. 24. Содержание нефти в слое засыпки

Анализ графиков позволяет судить о сложности влияния как минимум трех факторов на оценку динамики нефти и ее продуктов в торфяной залежи под засыпкой. Это вертикальная миграция и фракционирование нефти в зависимости от изменения УБВ и переход части нефтепродуктов в засыпку, нефтеемкость загрязненного слоя и деятельность разрушающих нефтепродукты микроорганизмов.

При динамике содержания нефтепродуктов необходимо учитывать концентрацию нефти в разных слоях по всей глубине проникновения нефти в торфяную залежь. Особенно это проявляется, если количество нефти в загрязненном слое выше его нефтеемкости – часть нефтепродуктов мигрирует вместе с колебаниями уровня воды и фильтрацией. В этом случае повышение УБВ приведет к возрастанию концентрации нефтепродуктов в верхних слоях и к уменьшению в нижних. В целом же содержание нефтепродуктов в нефтезагрязненном слое со временем будет закономерно снижаться.

2.5.7. Пороговые концентрации нефти в деятельном слое торфяной залежи

Оценка способности нефтезагрязненного торфяного болота после сбора свежеразлитой нефти к восстановлению имеет следующие варианты:

- остаточное содержание после сбора разлитой на поверхности болота нефти, при котором сохраняется способность болотного биоценоза восстанавливаться без внешнего вмешательства;
- уровень содержания нефти на поверхности торфяного болота, при котором возможно его восстановление с помощью засыпки слоем воздушно-сухого торфа;
- высокое содержание нефти на поверхности торфяного массива, при котором невозможно восстановить болотный биоценоз и требуется удаление замазученного слоя торфяной залежи.

Проверка различных сценариев оценки нефтезагрязнения потребовала разработки методики, позволяющей применять расчеты нефтепоглотительной способности верхнего слоя болот (нефтеемкости). Наблюдения и измерения нефтезагрязненных монолитов торфа в лабораторных условиях позволяют моделировать колебание уровней болотных вод, их влияние на динамику искусственно нанесенной нефти на поверхность болота, рассчитывать емкость ее поглощения и объем оставшейся или свободной нефти.

Предлагается эти показатели определять в литрах на квадратный метр, что позволит однозначно обосновать решения о способе рекультивации

каждого конкретного участка, сразу после ликвидации аварии. Использование показателей загрязнения для минерального грунта в г/кг в.-с. в., а для водной поверхности по толщине нефтяной пленки не подходит для торфяной залежи в естественном состоянии. С одной стороны, нет гладкой водной поверхности, а с другой – при высушивании грунта при анализе содержания в нем нефтепродуктов соотношение торфа и нефти возрастет значительно больше в сравнении с соотношением минерального грунта и нефти.

Под *нефтеемкостью* понимается способность удерживать единицей массы торфа массу нефти.

Для ее определения в лаборатории использовались вырезанные из верхнего слоя болота монолиты. Эти монолиты высотой 30 см с верхним растительным слоем ненарушенной структуры и естественной влажности помещали в эксикаторы диаметром по верху 25 см (см. цв. вклейку, рис. 25, 26). Торфяная вода для заливки монолитов отбиралась здесь же в полиэтиленовые емкости.

Уровень стояния воды (УВ) устанавливали путем ввода торфяной воды в эксикатор или ее отсифонивания.

Для определения плотности монолита предварительно из него ножницами вырезали образец на всю глубину диаметром до 3,0 см, по которому определяли массу образца, его высоту и диаметр. Плотность монолита рассчитывали по формуле:

$$S_{оч.сл.} = \frac{m}{\pi r^2 \cdot h},$$

где m – масса образца из вырезанного монолита, г; r – средний радиус цилиндрического образца, см; h – высота цилиндрического образца, см.

Определение плотности делали быстро с целью предотвращения изменения массы и размеров образца. После этого определяли влажность стандартным методом в двух параллельных опытах.

Перед заливкой нефти выполнялись следующие измерения и операции:

- определяли площадь поверхности монолита в эксикаторе $S = \pi r^2$;
- задавали исходные концентрации нефти: 5; 10; 15; 20, 25 л/м².
- определяли плотность нефти;
- определяли объем и массу нефти в порции заливки (при заданном содержании);
- пробу нефти заданного объема равномерно наносили по всей дневной поверхности монолита через дырчатую чашку;
- фиксировали начало времени опыта;
- визуально через сутки определяли, при каком содержании нефти (л/м²) образуются открытые очаги свободной нефти;

- свободную нефть с торфяной водой отсифонивали в мерный стеклянный стакан, после чего УВ доводили до поверхности монолита путем добавления торфяной воды;
- эту операцию повторяли через 1–2 сут, а отсифоненную свободную нефть с водой накапливали в мерном стакане;
- оценивали во всех случаях глубину проникновения нефти в монолит.

В эксикаторах с монолитами до нанесения нефти УВ доводили до значения 4–4,5 см (среднее по всем монолитам). Диапазон от 3,5 до 5 см. Плотность водонасыщенного монолита (ω = 98,3%) составила 0,738 г/см^3.

Полученные данные являются накопленными по 6 циклам (опытам) снятия свободной нефти и добавления воды до нулевого УВ.

Из анализа данных табл. 26 определено содержание свободной нефти, которое составило соответственно 11,3; 11,6; 13,1; 34,7; 54,8% от количества нанесенной нефти. Расчет нефтепоглотительной способности монолита выполнен при УВ, равном 5 см.

Таблица 26

Оценка нефтепоглотительной способности монолита торфа

Заливка, л/м^2	Объем свободной нефти, мл	Масса свободной нефти, г	Масса нанесенной нефти, мл (г)	Нефтепоглотительная способность	
				г/г	г/г с.в.
5	28,35	25,87	250 (228,1)	0,112	6,57
10	56,71	51,75	490 (447,1)	0,218	12,85
15	96,16	87,75	735 (670,7)	0,289	16,99
20	340,0	310,25	980 (894,3)	0,323	18,97
25	671,3	612,5	1225 (1117,8)	0,279	16,42

Примечание. Плотность нефти 0,9125 г/см^3. Объем свободной нефти, снятой с поверхности монолита, измеряли в мерных стеклянных стаканах после отстаивания в смеси нефть–вода.

Предполагая, что структура монолита во всех эксикаторах примерно одинакова, расчетным путем найдены их пористость, водо- и газонасыщенность (n, $n_в$, $n_г$), которые соответственно составили: 99,16; 72,55; 26,61.

Зная газонасыщенность, можно определить физический объем пор, занятых газовой фазой:

$$n_г = \frac{V_г}{V} 100\%,$$

где V – объем образца монолита в эксикаторе (2453 см^3). Тогда

$$V_г = \frac{n_г \cdot V}{100}$$

или

$$V_г = \frac{26{,}61 \cdot 2453}{100} = 652{,}74 \text{ см}^3.$$

Такой поровый объем теоретически может поглотить 595,63 г нефти, что в целом не противоречит данным ее содержания в монолите при C = 15, 20 и 25 л/м^2 (соответственно 522,9; 584; 505,3 г), что свидетельствует о насыщении нефтью межчастичного пространства торфа, ее сорбции на частицах до значений, близких к предельным. Недонасыщенность от расчетной отличалась в 0,89; 0,66 и 0,53 раза соответственно. Для С = 5 и 10 л/м^2 содержание нефти оказалось меньше расчетного в 2,6 и 1,33 раза.

Механизм взаимодействия нефти с торфяным субстратом монолитов складывается в несколько этапов:

- быстрое проникновение нефти по крупным капиллярам (межчастичное пространство);
- сорбция нефти на поверхности частиц;
- образование свободной нефти в межчастичном пространстве, поскольку процесс сорбции на частицах протекает быстро;
- поднятие УГВ до открытой поверхности выдавливает свободную нефть, прежде всего по крупным капиллярам.

Проиллюстрируем это на примере.

При C = 5, 10 и 15 л/м^2 количество нефти, выдавленной водой на поверхность монолита (при поднятии УВ до нуля), составило 11,3; 11,6; 13,1% соответственно.

Другая картина наблюдается при C = 20 и 25 л/м^2. Здесь при заливке нефти сразу же образовались пятна свободной нефти, поскольку пористая структура монолита сорбировала достаточно строго определенное количество нефти, заполнила капилляры, а ее излишки растеклись по поверхности.

Следовательно, можно считать, что при C > 15 л/м^2 и УВ, равном 5 см, формируется пороговая концентрация, предполагающая наличие свободной нефти на поверхности монолита.

При УВ, равном 40 см (подошва монолита или дно эксикатора), кумулятивная способность слоя торфа увеличивается, что подтверждается следующими расчетами.

При заданной плотности (ρ = 0,738 г/см^3) физический объем порового пространства, свободного для доступа нефти монолита, составит 19 625 см^3, а его масса 14 483,3 г.

При $C = 5$ л/м^2 и его удельном нефтепоглощении 0,112 г/г торфа возможный объем поглощаемой нефти составит 1622,1 г, что превышает внесенный объем нефти (228,13 г) в 7,1 раза.

При $C = 10$ л/м^2 эти же показатели составят соответственно: 0,218 г/г торфа, 3157,4 г (447,1 г), 3,6 раза.

При $C = 15$ л/м^2 : 0,289 г/г торфа, 4185,7 г (670,7 г), 2,4 раза.

При $C = 20$ л/м^2 : 0,323 г/г торфа, 4678,1 г (894,3 г), 1,8 раза.

При $C = 25$ л/м^2 : 0,279 г/г торфа, 4040,8 г (1117,8 г), 1,45 раза.

Нетрудно предположить, что при многократном полном осушении монолита в эксикаторе (до 4–7 раз) выдавливания свободной нефти при последующих колебаниях УВ происходить не будет, поскольку объем порового пространства, занятого газовой фазой ($n_г$), способен сорбировать всю нефть на частицах торфа.

Приведем результаты расчетов параметров пористой структуры для этого случая (УВ = 40 см): $n = 99{,}16\%$; $n_в = 72{,}55\%$; $n_г = 26{,}61\%$ и $V_г = 5222{,}2$ см^3. Такой объем газонасыщенных пор позволяет вместить 3854 г нефти, что больше количества нефти, нанесенной на монолит в 16,9; 8,6; 5,7; 4,3 и 3,4 раза соответственно для $C = 5$, 10, 15, 20 и 25 л/м^2. Поскольку нефть проникает и сорбируется прежде всего по крупным поровым каналам и медленно заполняет мелкие капилляры, то можно предполагать, что не весь физический объем порового пространства участвует в процессе сорбции. Согласно данным, полученным при изучении параметров пористой структуры монолита методом фильтрации меченой воды[19], объем пор, приходящихся на поры с размером $D > 30$ мкм, составил около 100%.

Следовательно, объем, способный к поглощению и удерживанию в монолите нефти с учетом вязкости и поверхностного натяжения, будет близким к расчетному и составит:

- при УВ = 5 см – 595,63 г, что превышает объем нанесенной нефти в 2,6; 1,33; 0,89; 0,66 и 0,53 раза (при $C = 5$, 10, 15, 20 и 25 л/м^2);
- при УВ = 40 см – 3854,0 г, что превышает объем нанесенной нефти в 16,9; 8,6; 5,7; 4,3 и 3,4 раза.

Таким образом, при высоком стоянии УБВ появление свободной нефти на поверхности торфяной залежи будет при $C \geq 10$ л/м^2, а при низком УВ = 40 см – при $C \geq 25$ л/м^2.

В результате подтверждается, что монолит представляет собой капиллярно-пористую систему, размерность которой позволяет нефти свободно проникать с поверхности в ее объем до контакта с водонасыщенной частью монолита или торфяной залежи ниже УБВ.

---

[19] Физика и химия торфа / И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. – М.: Недра, 1980. – 304 с.

2.5.8. Обоснование качественных характеристик торфа для засыпки

Результатом использования новой технологии является упрощение и удешевление процесса рекультивации поверхности нефтезагрязненных неосушенных торфяных болот, а также повышение эффективности очистки и ускорение восстановления коренных фитоценозов.

Данный способ рекультивации нефтезагрязненных поверхностей торфяных болот включает нанесение на загрязненный участок слоя фрезерного торфа плотностью 0,2–0,5 г/см^3, влажностью 40–60%, в который предварительно введена добавка в виде мелкораздробленных сфагновых мхов с размером фракций от 5 до 20 мм, в количестве 10–20% по массе. Предварительно определяют степень загрязнения торфяного болота. Толщина слоя торфа должна составлять не менее 100 мм (от 50 до 200 мм), а в качестве добавки преимущественно используют сфагновые мхи. При превышении пороговой концентрации загрязнения 15 л/м^3 осуществляют предварительный сбор нефти.

Плотность фрезерного торфа, используемого для засыпки, должна составлять 0,2–0,5 г/см^3, так как при меньшей плотности торф представляет собой систему переплетения крупнопористых волокнистых структур, обладающих низкой активной (на нефть) пористостью, ведущей к низкому капиллярному поднятию нефти, а также пониженному содержанию микрофлоры на единицу объема. При большей, чем 0,5 г/см^3, насыпной плотности торфа эффективность работы слоя засыпки, как капиллярно-пористого тела, также снижается по причине уменьшения газонасыщенности, а следовательно, сорбции нефти в слое засыпки. Затруднено поступление кислорода воздуха к нефти в зону нефтезагрязнения.

Нижний предел содержания влаги фрезерного воздушно-сухого торфа влажностью 40% обусловлен необходимостью обеспечения эффективной работы микрофлоры. При превышении верхнего предела влажности в 60% происходит увеличение доли порового пространства, насыщенного водой, снижается газонасыщенность, затрудняется поступление нефти из загрязненного слоя торфяной залежи в засыпку из фрезерного торфа.

Слой засыпки в зависимости от микрорельефа может меняться от 50 до 200 мм. В наиболее загрязненных понижениях микрорельефа засыпка менее 200 мм может быть деформирована паводковыми водами. Кроме того, тонкий слой засыпки не способен надежно предотвращать испарение легких фракций нефти в атмосферу.

В качестве торфяной засыпки рекомендуется использовать фрезерный торф, отвечающий требованиям, представленным в табл. 27.

Таблица 27

Требования к торфяной засыпке

Наименование показателя	Норма	Метод испытаний
Тип торфа	Верховой, переходный	
Ботанический состав	Травяная, моховая, травяно-моховая группы	ГОСТ 28245-89
Степень разложения торфа, %, не более	25	ГОСТ 28245-89
Массовая доля влаги ω, %	50–60	ГОСТ 11305-83
Зольность A^c, %, не более	20	ГОСТ 11306-83
Кислотность солевой суспензии pH_{KCl}	2,5–6,0	ГОСТ 11623-89
Засоренность (древесными включениями размером свыше 25 мм) З, %, не более	8	ГОСТ 11130-75
Плотность насыпная ρ, кг/м^3	0,2–0,5	ГОСТ 13673-76[20]

Торф должен быть без запаха, плесени, признаков коксования и саморазогревания.

При уровне загрязнения нефтью свыше 15 л/м^2 в понижениях поверхности болота обычно образуются открытые «блюдца» нефти. В этом случае нефть удаляют щадящим ручным способом.

2.5.9. Природоохранные мероприятия по локализации нефтезагрязнений на торфяном болоте

Концепция предлагаемой технологии рекультивации заключается в нанесении искусственного слоя воздушно-сухого торфа на нефтезагрязненную поверхность торфяной залежи с целью активизации метаболизма существующих в нефтезагрязненном торфогенном (деятельном) слое микроорганизмов, количество которых обусловлено биогеохимическим процессом торфообразования, и значительно выше, чем у других почв.

Полученные результаты научных исследований подтвердили логику данной технологии:

- слой воздушно-сухого торфа, наносимый на нефтезагрязненный участок торфяной залежи, является пористой системой, содержащей достаточное количество воздуха (окисляющего агента) на единицу объема твердого вещества, а также содержит достаточное количество микроорганизмов, в том числе разлагающих углеводородный поллютант;

[20] Технический анализ торфа. – М.: Недра, 1992.

- слой воздушно-сухого торфа, сорбируя оставшуюся после откачки (уборки) на поверхности болота нефть, разгружает верхний слой залежи, способствуя его самовосстановлению;
- восстанавливающийся на поверхности болотный биоценоз способствует более интенсивному разложению остатков нефти.

В состав работ после ликвидации аварийного разлива нефти входят:

- определение остаточного содержания нефти на поверхности (в литрах на м^2), при котором болотный биоценоз способен восстанавливаться естественным путем или его восстановление возможно с помощью засыпки слоем воздушно-сухого торфа;
- проведение противопаводковых мероприятий, направленных на удерживание остаточной нефти в границах участка аварийного разлива;
- применение комплекса машин и механизмов для внесения торфяных засыпок на загрязненные нефтью участки болота;
- организация системы мониторинга рекультивируемых участков торфяных залежей, направленная на получение информации о содержании остаточной нефти на этих участках и оценки эффективности мероприятий по восстановлению болотной поверхности.

Внедрение альтернативной технологии позволит снизить ущерб окружающей среде от аварийных разливов, выполнять работы по локализации и рекультивации участков загрязненных болот сразу после ликвидации аварийных разливов нефти на них, проводя ежегодный мониторинг рекультивированных участков и сдачи их инспектирующим органам после разложения остаточной нефти до допустимого уровня, требуемых нормативов.

По предварительной оценке, данная (щадящая) технология восстановления нефтезагрязненных болот в 3 раза дешевле существующих технологий.

2.5.10. Рекомендации по экологическому мониторингу процесса восстановления нефтезагрязненных болот

После проведения этапов рекультивации нефтезагрязненных участков торфяных болот возникает необходимость в организации наблюдений и измерений, характеризующих состояние объекта.

К контролируемым показателям следует относить: оценку общего состояния территории; сохранность покрытия засыпки по площади объекта; наличие и размеры площадок, не закрытых засыпкой; наличие и размеры площадок, где обнаружилось выдавливание свободной нефти на откры-

тую поверхность; состояние ловчей канавы и ее заполнение жидкостями (вода, нефть, пленки нефти на воде); визуальный и (или) дистанционный контроль роста болотных растений на торфяной засыпке; полевой анализ.

Отбор проб из нижнего слоя засыпки и верхнего слоя торфяной залежи на микробиологический анализ осуществляется с частотой отбора проб – 1 отбор (засыпка + залежь) на площадке размерами 50 × 50 м (100 × 100 м) в зависимости от площади пораженного участка. Точки отбора проб фиксируются; определяется уровень стояния болотных вод (УБВ); определяется в лабораторных условиях видовое разнообразие микробиоценоза; анализируются полученные результаты.

Отбор проб из нижнего слоя засыпки и верхнего слоя торфяной залежи на нефтезагрязнение осуществляется аналогично отбору проб на микробиологический анализ.

Оценка УБВ осуществляется в местах отбора проб, а измерения производятся непосредственно в полевых условиях в скважинах.

Сроки проведения указанных видов работ осуществляются два раза в год: середина–конец мая (после таяния снегового покрова и оттаивания залежи) и конец июля–начало августа (до наступления заморозков). Сроки выдерживаются постоянными на весь период мониторинга.

В результате анализа полученных данных (полевых и лабораторных исследований) составляется отчет, включающий:

- все результаты наблюдений и измерений, которые регистрируются в виде соответствующих документированных протоколов;
- годовые результаты обобщаются в виде заключения о состоянии объекта.

Наблюдения и измерения проводятся на протяжении не менее 3 лет. При изменении степени покрытия поверхности растениями рекультивированного нефтезагрязненного торфяного болота, близкими к аборигенным фитоценозам, принимается решение о завершении работ по восстановлению территории (после первого года зарастание до 5%, к концу второго – до 10%. При неблагоприятных погодных условиях оценку ведут от 3 до 5 лет).

2.5.11. Критерии эффективности всесезонной технологии рекультивации нефтезагрязненных торфяных болот

Применяемые в настоящее время при приемке рекультивированных земель критерии для минеральных почв в принципе нельзя использовать для торфяных болот. Существующие методы рекультивации минеральных почв имеют целью создать плодородный слой и вырастить на нем луговые травы, что неприемлемо при восстановлении болотных фитоценозов. Поэтому критерии эффективности рекультивации нефтезагрязненных поверхностей торфяных болот требуют научного обоснования и разработки.

При поступлении нефти на болотный участок происходит насыщение верхнего слоя болот расположенного выше УБВ. Отсюда следует, что нельзя характеризовать степень загрязнения нефти объемом или массой нефти, поступившей на единицу площади (1 м^2). Такой показатель ошибочный, так как не учитывает УБВ на момент загрязнения, а следовательно, и толщину (объем) загрязненного слоя. Например, если в одном случае на 1 м^2 поступит 20 л нефти при УБВ, равном 20 см от поверхности болота, а во втором – 10 л, но при УБВ, равном 10 см, то степень воздействия (эффект загрязнения) на болото будет одинакова. Следовательно, необходимо относить объем или массу нефти к объему или массе торфа, принявшего загрязнитель, для чего необходимо фиксировать глубину проникновения нефти. Наличие свободной нефти в пониженных элементах поверхности болота является свидетельством полного насыщения слоя торфа, расположенного над УБВ.

Поэтому при локализации разлива и максимально возможном удалении свободной нефти с поверхности нефтезагрязненного участка логичнее оставить поверхность торфяного болота на самовосстановление. После удаления свободной нефти с поверхности болота и при последующем повышении УБВ будет выдавливаться часть слабосвязанной торфом нефти на поверхность. Если эту нефть не собирать или не локализовать, то она может стать источником вторичного загрязнения водотоков.

Технология использования подсушенного торфа при нанесении его на загрязненную нефтью поверхность позволяет «прятать» загрязнение, удерживать засыпным торфом части нефти, выдавленной из залежи при колебаниях УБВ. При продолжающемся под торфяной засыпкой торфообразовании происходит восстановление и развитие микробиологических процессов разрушения нефтепродуктов. Через 2–3 года содержание влаги в засыпке приближается к влажности неосушенной торфяной залежи, что способствует ее зарастанию влаголюбивой растительностью. Параллельно происходит осадка засыпок под своим весом, что также стимулирует их зарастание.

Загрязненный нефтью слой болота со временем погружается в торфяную залежь в виде небольшой по мощности инородной линзы. При таком подходе не следует ставить целью снижение остаточного содержания нефти, как критерия приемки, до небольших величин, достичь которых можно, лишь применяя активные методы рекультивации.

В настоящее время в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов РФ от 12.09.2002 г. № 574 постановлением Правительства

ХМАО-Югры от 10.12.2004 г. № 466-п утвержден региональный норматив «Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории ХМАО-Югры». Для торфяных болотных верховых почв торфяного слаборазложившегося и неразложенного горизонта значение норматива принято равным 60 г/кг воздушно-сухой почвы; для очесного горизонта – 100 г/кг; для иных торфяных горизонтов – 30 г/кг. Норматив для торфяных болотных переходных и низинных почв (торфяной слой) принят равным 20 г/кг. Эти нормативы вошли в «Типовой технический стандарт» Группы ТНК-БП. Обоснованием значений нормативов является зарастание поверхности торфяных болот луговой растительностью, а это означает, что научного обоснования, учитывающего специфику торфяной залежи и торфа, отмеченные выше документы не содержат.

Норматив допустимого остаточного содержания нефти (НДОСН) должен соответствовать нефтеемкости болота – количеству нефти, которое единица объема верхнего слоя торфяной залежи способна поглотить и удержать. При таком содержании нефти не будет ее выдавливания на поверхность болота, исключается миграция нефти в сопредельные среды, то есть обеспечиваются экологические требования к нормативу. Вместе с тем снижение норматива ниже значения нефтеемкости потребует дорогостоящих методов биоразложения нефти или активных методов воздействия (фрезерования).

Уровень загрязнения торфяной залежи нефтью оценивается путем сопоставления среднего значения содержания нефти в нефтезагрязненном слое торфяной залежи *С*, пересчитанного на естественную влажность торфа с учетом его нефтеемкости Н (табл. 28).

Таблица 28

Уровень загрязнения торфяной залежи нефтью

Уровень загрязнения	Критерий
Предельный	С (н.ср.ест.) ≥ Н
Сильный	0,5 Н ≤ С (н.ср.ест.) < Н
Средний	0,25Н ≤ С (н.ср.ест.) < 0,5Н
Слабый	С (н.ср.ест.) < 0,25 Н

Введение понятия нефтеемкости в технологию рекультивации торфяных болот позволит дать ориентировочный прогноз количества удаляемой свободной нефти, определяемого как разность между объемом разлитой нефти и нефтью, способной поглотиться и удержаться торфом. Кроме этого, зная нефтеемкость и объем загрязненной торфяной залежи, легко устанавливается количество загрязнителя в торфяной залежи, не-

обходимое для расчета платы за негативное воздействие на окружающую среду.

Необходимо установить иные (помимо НДОСН) не менее важные критерии приемки, например, процент зарастания нефтезагрязненной поверхности болотной растительностью. Это отдельные локальные задачи, решение которых требует научного обоснования и практической масштабной проверки.

Для оценки эффективности опытно-промышленных испытаний предлагаются следующие критерии (табл. 29).

Таблица 29

Критерии эффективности опытно-промышленных испытаний технологии рекультивации нефтезагрязненных болот с использованием засыпок подсушенным торфом

Критерий	Норма
Появление и размеры пятен свободной нефти на площадке с торфяной засыпкой	Отсутствует
Появление пленок нефти в смотровом колодце на контрольной площадке	Отсутствует
Процент зарастания на второй год испытаний: уровень загрязнения предельный и сильный; уровень загрязнения средний и слабый	 Не менее 5% Не менее 10%
Процент перехода нефти из загрязненной залежи в засыпку	Не менее 10%
Снижение содержания нефтепродуктов (на единицу массы торфа естественной влажности) в верхнем 10-см слое загрязненной торфяной залежи	Не менее чем на 20%
Активизация микробиоценоза	Увеличение не менее чем на 20% микроорганизмов, разлагающих нефтепродукты

3. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ НА ПОДГОТОВЛЕННЫХ УЧАСТКАХ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

3.1. Введение

Для крупных городов разработаны достаточно эффективные технологии очистки хозяйственно-бытовых стоков. Однако они не подходят для небольших населенных пунктов, которым свойственна низкая температура стоков, высокий коэффициент неравномерности гидравлической нагрузки, отсутствие квалифицированного обслуживающего персонала. Кроме этого, такие технологии имеют высокие капитальные затраты (стоимость стандартного комплекса очистных сооружений для населенного пункта в 10 тыс. человек составляет 200–300 млн руб.) и высокие эксплуатационные расходы (стоимость обезвреживания сточных вод составляет 4 и более рублей за 1 м^3).

Опыт эксплуатации очистных сооружений в малых населенных пунктах показывает, что для очистки хозяйственно-бытовых стоков более перспективны не традиционные, применяющие электроэнергию и химические реагенты сооружения, а основанные на естественно-биологических методах, обеспечивающих достаточно высокую эффективность очистки и надежность эксплуатации при сравнительно невысоких капитальных вложениях и эксплуатационных расходах. В настоящее время известные системы естественной очистки – биопруды и поля фильтрации – имеют стоимость, не сопоставимую с финансовыми возможностями бюджета малого населенного пункта.

Развитие хозяйственной деятельности человека неизбежно приводит к усилению влияния на все составляющие гидросферы, загрязнению и истощению водных ресурсов. Так, сброс сточных вод в поверхностные объекты составил, по данным Государственного доклада 2003 г.:

- Тюменская область – сброшено всего 318,4 млн м^3, в том числе загрязненных сточных вод – 76,2 млн м^3;
- Ханты-Мансийский АО – 231,5 и 35,1 млн м^3 соответственно.

Сброс загрязненных сточных вод в расчете на 1 жителя составляет:

- Тюменская область – от 50 до 100 м^3/чел.;
- Ханты-Мансийский АО – менее 50 м^3/чел.

В ХМАО-Югре в 2002 г. из природных водных источников забрано 754,41 млн м^3 воды, в том числе:

- из поверхностных водных источников – 478,67;
- подземных – 275,74.

Общее водоотведение сточных и других вод, включая ливневые, составило 327,71 млн м^3. Из них в поверхностные водные объекты сброшено 318,23 млн м^3, в том числе 153,96 млн м^3 сточных вод, требующих очистки.

В 2002 г. в водные объекты сброшено 148,26 млн м^3 сточных вод, прошедших очистку на канализационных очистных сооружениях (КОС) проектной мощностью 191,83 млн м^3/год.

Введены новые очистные сооружения в ООО «Югорскэнергогаз» (Канализационные очистные сооружения КОС-500), Дирекции ОМНГЭ (КОС-100), МУП «Мортинское ЖКХ» (КОС-400). Однако все вновь введенные очистные сооружения сбрасывают воды, отнесенные к категории недостаточно очищенных.

Следует отметить, что КОС в ХМАО-Югре обеспечивают функционирование городов и поселков городского типа. Иная картина отмечается по малым поселениям, рассредоточенным на больших территориях и имеющих сравнительно меньшее количество проживающих или работающих. Проблемы организации в таких местах традиционных канализационных очистных сооружений сопряжены со значительными капитальными затратами (масштабность очистки сточных вод), повышенными расходами энергии и трудозатратами.

В табл. 30 приведен перечень малых населенных пунктов, расположенных в непосредственной близости от торфяных болот (0,2–2 км). Такое расположение населенных пунктов, а следовательно, источников сточных вод, создает и другие трудности по организации КОС:

- сложности транспортировки оборудования, техники, энергоносителей;
- удорожание эксплуатационных расходов.

С учетом этого выполнена НИР и ОКР Сибирским научно-исследовательским и проектным институтом рационального природопользования совместно с Тверским государственным техническим университетом вначале в рамках государственного контракта № 12/06 НИР по заказу Департамента инвестиций, науки и технологий Ханты-Мансийского автономного округа – Югры[21], затем по заказу инвесторов[22].

Изучение использования торфяных болот для очистки сточных вод малых населенных пунктов ХМАО-Югры потребовало решения ряда последовательных задач, связанных:

- с изучением отечественного и зарубежного опыта организации очистных сооружений с использованием водной растительности, торфоминеральных или торфяных отложений;

[21] Отчет по научно-исследовательской работе: «Использование торфяных болот для очистки сточных вод малых населенных пунктов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры с числом жителей до 1000 человек». – Нижневартовск, 2007. – 168 с.

[22] Обоснование инвестиций «Очистка бытовых сточных вод жилого поселка Тайлаковского нефтяного месторождения с использованием участка торфяной залежи». – Нижневартовск, 2007.

Таблица 30

Перечень малых населенных пунктов, расположенных в непосредственной близости от торфяных болот (0,2–2 км)

№ пп	Наименование	Кадастровый номер торфяного месторождения	№ пп	Наименование	Кадастровый номер торфяного месторождения
1	Ульт-Ягун	1059	26	Светлый	442
2	Аган	1680	27	Щекурья	229
3	Тром-Аган	1059	28	Нумто	494
4	Русскинская	1059	29	Пырьях	945
5	Ортьягун	1064, 1080	30	Шапша	997
6	Сытомино	1129	31	Выкатной	745
7	Песчаный	1129	32	Согом	993
8	Каркатеевский	1129	33	Салым	2367
9	Усть-Юган	2243	34	Корлики	1628
10	Юган	1178	35	Ваховск	1928
11	Вата	1800, 1801	36	Варьеган	1461
12	Покур	2055	37	Пионерский	556
13	Каюкова	1265	38	Нижнесортымский	1055
14	Малоюганский	1211, 1219	39	Нюрих	563
15	Таурова	1382	40	Супра	602
16	Казым	487	41	Тайлакова	1426
17	Шугур	736	42	Новинская	303
18	Ямки	786	43	Тутлейм	240, 250
19	Чантырья	682, 683	44	Хурумпауль	233
20	Назарово	683, 688	45	Никулкина	773
21	Ушья	688	46	Кочевая	1063
22	Половинка	732	47	Бол.Ларьяк	1875
23	Сосьва	274	48	Солнечный	1141
24	Полноват	485	49	Сотник	794
25	Анеева	403			

- оценкой инженерных решений, экологической и экономической эффективности;
- обоснованием возможности использования торфяных болот как очистных сооружений с учетом механизмов биохимической деструкции; механической и сорбционной способности торфяных отложений поглощать, удерживать и разрушать различные загрязнители в сточных водах;
- обеспечением функционирования КОС в различные периоды года;

- выполнением экспериментальных исследований по оценке загрязнения торфяного болота, используемого для несанкционированного сброса сточных вод;
- разработкой рекомендаций, направленных на реализацию результатов исследований (пилотный проект КОС на торфяном болоте);
- обоснованием возможности использования торфяных болот для очистки сточных вод, с точки зрения существующей нормативно-методологической базы, а также законодательных актов в этой области;
- разработкой временного регламента торфяных болот для очистки сточных вод малых населенных пунктов ХМАО-Югры, его согласование с Роспотребнадзором, получение заключения государственной экологической экспертизы.

3.2. О возможности использования торфяных болот для очистки сточных вод

Для того чтобы оценить возможности использования торфяного болота в качестве очистного сооружения, необходимо проанализировать существующие технологии очистки сточных вод. Не останавливаясь подробно на каждой технологии, отметим лишь некоторые особенности.

Наибольшие трудности при очистке сточных вод связаны с удалением из них высокодисперсных и растворенных органических веществ. Для извлечения таких загрязнителей наиболее часто применяют их биохимическое окисление в природных или искусственно созданных условиях. В первом случае для этого используются почвы, проточные и замкнутые водоемы, во втором – специальные сооружения (биофильтры, аэротенки и т. п.).

Биологическая очистка сточных вод основана на способности микроорганизмов использовать для питания органические вещества (кислоты, спирты, белки, углеводы и т. д.), которые являются для них источником углерода.

Процесс биологической очистки условно разделяют на две стадии, протекающие одновременно, но с разной скоростью:

– адсорбция из сточных вод тонкодисперсной и растворенной примеси органических и неорганических веществ поверхностью тела микроорганизма;
– разрушение адсорбированных веществ внутри клетки микроорганизмов при протекающих в ней биохимических процессах (окисление, восстановление).

Наиболее распространенные методы очистки промышленных стоков во многих случаях недостаточно эффективны (табл. 31).

Таблица 31

Эффективность очистки сточных вод

Метод очистки	Степень очистки
Механический	До 40%
Химико-механический	До 50%
Физико-химический	До 75%
Биологический, с применением представителей высшей водной растительности	До 95%

Традиционно применяемые технологии очистки различных стоков предусматривают механическое разделение загрязненных вод и искусственную очистку их жидкой фракции. Сложности такого способа обусловлены энергоемкостью оборудования и невысокой способностью обеспечить достойную степень приближения качества сточных вод к природному качеству и снижению воздействия поступающих загрязнений на окружающую среду.

Одним из рациональных способов улучшения качества загрязненных вод является фитомелиорация, основанная на использовании высаживаемой водной растительности для борьбы с антропогенной эвтрофикацией водоемов (ряска, водяной шпинат, вольфия, многокоренник, рогоз, камыш, эйхорния (водный гиацинт) и др. Такие растения усваивают многие растворенные в воде соединения, улучшают качество очищенного стока по БПК, ХПК, содержанию взвешенных веществ.

Такой способ доочистки водных сред и не капиталоемкий, и эффективный, однако применимость таких растений следует увязывать с природно-климатическими условиями их произрастания.

Другой способ организации очистного сооружения – биологический фильтр, заполняемый загрузочным материалом (щебень, галька, шлак, керамзит, пластмассовые кольца, шарики, пленки и т. п.), через который фильтруется сточная вода, а на поверхности загрузки развивается биологическая пленка, состоящая из прикрепленных форм аэробных микроорганизмов. Подача воздуха в толщу загрузки осуществляется естественным или принудительным способами.

Для очистки и доочистки сточных вод используются биологические пруды, которые по технико-экономическим соображениям целесообразно применять для очистки стоков объемом 5000–6000 м^3/сут. Работу прудов возможно сочетать с фитомелиоративным способом, организуемым за пределами пруда. При проектировании биологических прудов возникают

вопросы о необходимости и месте хлорирования воды, а также о последовательности размещения сооружений при одновременном использовании биологических прудов и зернистых фильтров для грубой очистки и доочистки сточных вод.

В биологических прудах в той или иной степени развиваются водоросли. Выделяемые ими метаболиты обладают бактерицидными свойствами по отношению к патогенной микрофлоре. Аналогично работает и высшая водная растительность. Поэтому летом вода, выходящая из биологических прудов, не содержит патогенов и практически не требует хлорирования, а зимой эта операция становится обязательной.

Очистка сточных вод на полях фильтрации и полях орошения относится к числу наиболее старых и надежных с санитарной точки зрения методов. Допустимая нагрузка на поля фильтрации зависит от ряда факторов:
– климатических условий района;
– структуры почвы и ее фильтрационной способности;
– уровня грунтовых вод;
– загрязняющих веществ и их концентраций.

Исходя из этого, нагрузка варьирует от 50 до 200 м^3 на 1 га в сутки, а по количеству загрязняющих веществ, оцениваемому по БПК$_{полн}$, принимается равной 20–80 кг/га.

Поля фильтрации предпочтительно располагать на земельных участках со слабовыраженным рельефом, имеющих уклон от 0,01 (суглинистый грунт) до 0,05 (песчаный грунт).

Отличие полей орошения от полей фильтрации заключается в том. что с помощью полей орошения одновременно решаются две задачи: очистка сточных вод и утилизация содержащихся в сточных водах удобрительных веществ. Пропускная способность полей орошения составляет 15–25 м^3 в год.

Методы и процессы доочистки сточных вод дополняют традиционные схемы двухступенчатой очистки (механическая + биологическая) по своему назначению, области и особенностям использования доочищенной воды. К таким дополнительным методам следует отнести:
– фильтрование – снижение содержания взвешенных веществ; перед использованием доочищенные воды необходимо обеззараживать;
– адсорбция – очистка воды от растворенных органических соединений; перед использованием необходимо обеззараживать сток;
– биосорбция – очистка воды от биологически трудно окисляемых органических веществ; требуется обеззараживание воды;
– коагуляция, флотация – очистка от растворенных органических, взвешенных, коллоидных веществ; после осветления необходимо применение песчаных и угольных фильтров;

– ультра- и гиперфильтрация – деминерализация, полное удаление взвешенных и органических веществ, азота, фосфора, вирусов, извлечение ценных веществ; мембраны должны обладать селективностью, прочностью, стойкостью;
– электродиализ – деминерализация, удаление органических соединений и т. д.; обеззараживание – обязательная процедура;
– ионный обмен – деминерализация, удаление органических примесей и др., обеззараживание – обязательная процедура;
– окисление – снижение органического загрязнения, мутности, цветности, запахов и т. п.; исходная вода должна быть очищена от взвешенных веществ и растворенных газов.

Из анализа различных систем очистки следует, что по мере наращивания и усложнения технологий эффективность их возрастает многократно, однако достижение поставленной цели сопряжено с существенным ростом стоимости капитальных и эксплуатационных затрат.

Существующие системы очистки сточных вод отличаются широким многообразием, спектром классификационных признаков, технических и биологических способов и методов, направленных на решение узловой задачи – отделить, выделить из сточных вод различные по природе и происхождению загрязнители и сбросить очищенную воду в водоприемник или направить ее в технологический процесс.

Анализ материалов по этой проблеме позволяет заключить, что в ряде технологий очистки сточных вод в той или иной мере присутствуют элементы решений, технических средств и приемов, позволяющих моделировать и оценивать возможности торфяного болота как очистного сооружения.

Действительно, сточные воды, образующиеся в малом населенном пункте, через напорную систему подаются в колодец-успокоитель или отстойник, где в процессе отстаивания отделяются от взвешенных веществ различной природы и фракционного состава. Следовательно, первый этап движения и механической обработки сточных вод не отличается от традиционных схем. Выбор конструкции механической очистки должен определяться составом сточных вод, их объемом ($м^3$/сут), простотой и надежностью в эксплуатации сооружения с учетом природно-климатических особенностей территории, ее удаленности от транспортных и энергетических сетей.

Второй этап очистки предполагает проведение операций обработки осветленной части сточных вод, состав которых преимущественно складывается из растворенных, эмульгированных веществ и частиц в коллоидном и высокодисперсном состоянии. Спектр традиционных решений

очистки таких вод более широкий и включает группы методов физико-химической и биологической очистки. Отдельные элементы, составляющие таких процессов, вполне согласуются с идеологией использования участка торфяного болота как очистного сооружения:
- естественная аэрация;
- фильтрационная и адсорбционная способность торфа;
- ионообменная способность торфяного субстрата;
- формирование растительного покрова;
- развитие форм микробиологической активности;
- вымораживание и оттаивание;
- разбавление сточных вод перед сбросом в водоприемник.

Исходя из этого, можно полагать, что участок торфяного болота при определенной подготовке вполне способен справиться с той нагрузкой, которая образуется при выпуске на него сточных вод, прошедших стадию механической очистки.

Таким образом, торфяные болота могут рассматриваться в качестве многофункционального очистного сооружения, способного осуществлять очистку и доочистку сточных вод до требуемых кондиций, причем с затратами многократно меньшими, чем в случае строительства аналогичных по функциям искусственных очистных сооружений.

3.3. Опыт эксплуатации очистных сооружений на болоте

Болота служат естественным фильтром на пути миграции органического и минерального вещества, в растворенной, взвешенной и эмульгированной формах. Замедленный водоток в большинстве болот способствует оседанию широкого спектра частиц, более эффективным процессам сорбции и ионообменных реакций. Кроме того, некоторые болотные растения, как, например, широко распространенный рогоз (*Typha*), способны концентрировать в своих тканях тяжелые металлы и некоторые продукты неполного сгорания автомобильного топлива. Посадка рогоза закладывается в ряде проектов заболачивания территорий, примыкающих к крупным автомобильным магистралям, например к Московской кольцевой автодороге.

В Ленинградской области для очистки сточных вод г. Колпашево был выбран наиболее дешевый и эффективный метод очистки – фильтрация воды через болото. Разработаны проектные предложения по обеспечению полной биологической очистки сточных вод в водно-болотной экосистеме

поймы р. Тогурская протока. Обоснована возможность доведения степени воздействия хозяйственно-бытовых стоков г. Колпашево на приемный водоем (р. Тогурская протока) до нормативного уровня без строительства традиционных очистных сооружений. В результате будет решена проблема обеспечения санитарно-эпидемиологической безопасности населения города и нормативной очистки 1,8–2,0 млн $м^3$/год стоков.

Предложенный вариант биоремедиации обеспечивает стоимость очистки 0,3–0,4 руб. за 1 $м^3$ стоков. Затраты электроэнергии на очистку сточных вод в природных болотах минимальны и связаны только с транспортировкой сточных вод до болота. Предложенный способ доставки стоков г. Колпашево до участка очистки не требует энергозатрат. Экономический эффект на этапе создания очистного комплекса составляет 270–280 млн руб.

В Ломоносовском районе Ленинградской области на олиготрофном болоте близ дер. Петровское изучалось состояние растительности, торфяной залежи и воды в связи с подачей на болото сточных вод свинокомплекса при нагрузке 14 тыс. $м^3$/га с целью их очистки[23]. Состав стоков свинокомплекса (табл. 32) характеризовался высоким содержанием ионов аммония, $БПК_5$, фосфора и биогенных веществ.

Таблица 32

Состав стоков свиноводческого комплекса

Показатель	Содержание, мг/л	Показатель	Содержание, мг/л
pH	7,4–7,6	$БПК_5$	500–6000
NO_3	0,05–0,3	ХПК	2000–5000
NO_2	1,0–9,7	K_2O	370–500
NH_4	400–600	Na_2O	100
P_2O_5	P_2O_5	Cl	50–300

Через 2 мес. после прекращения поступления стоков на расстоянии 70 м от выпуска значения $БПК_5$ снизились до уровня контрольных, а через 5 мес. – на расстоянии 150 м от выпуска содержание ионов аммония снизилось до 28,5 мг/л, P_2O_5 – до 40 мг/л, K_2O – до 27,5 мг/л. Отмечена активная перестройка растительности. Выявлен пороговый показатель – 1,06% общего азота к абсолютно сухому веществу сфагновых мхов, определяющий нормальное существование сфагнового покрова. Покрытие пушицы увеличилось примерно в 9 раз. Подобные исследования проводились также на территории совхоза Пашский в Волховском районе Ленинградской области на олиго-мезотрофном болоте при нагрузке 1600 $м^3$/га в год стоков крупного животноводческого комплекса.

[23] Кузьмина Е.О. Реакция сфагновых мхов на жидкие стоки животноводческих комплексов // Экология, РАН, Наука. – 1993. – Вып. 2. – С. 10–14.

В литературе приводятся сведения об использовании Ольховского болота в качестве природного фильтра на пути слаборадиоактивных стоков Белоярской АЭС[24]. Применение тритиевой метки позволило установить, что время полного прохождения сбросной воды через болото (около 2 км) составило 200 ч, средняя линейная скорость прохождения основной массы воды через Ольховское болото равна 100 м/ч.

Многие страны мира (США, Канада, Финляндия, Дания, Швеция, Норвегия, Индия, Россия и др.) активно используют при очистке модифицированные естественные или искусственные болотные участки в качестве эффективных и дешевых очистных сооружений.

Так, в штате Флорида (США) кипарисовые болота (отчасти напоминают ольшаники) удаляют 98% всего азота и 90% всего фосфора из проходящих по ним сточных вод.

В Калькутте (Индия) все бытовые стоки направляются в комплекс модифицированных водно-болотных угодий, которые используются для разведения рыбы (продукция которой составляет 2,4 т/га ежегодно), а также для ирригации рисовых полей.

Интересен опыт г. Арката (Калифорния, США), расположенного на побережье залива Гумбольдта в нескольких сотнях миль к северу от Сан-Франциско, где «бросовые» земли, которые использовались для свалки отходов, превратили в пресноводные болота, служащие для естественной биологической очистки сточных вод, в основном без участия человека. Болота способствуют восстановлению экологического равновесия и росту популяции птиц. Корни камыша, который обильно произрастает на болотах, содержат большое количество крахмала. Этот крахмал предусматривается извлекать, подвергать гидролизу и использовать для производства спирта в качестве моторного топлива (газойля).

Большой интерес представляет создание сравнительно новых систем естественной очистки – искусственных болот. В научной литературе пока отсутствует общий терминологический подход их описания. Их называют биоплато, фильтрующими прудами и ботаническими площадками.

Создание искусственных болот для очистки сточных вод минимизирует капитальные затраты на очистку стоков только в том случае, когда велика стоимость системы транспортировки сточных вод до природного заболоченного участка. При наличии рядом с населенным пунктом естественного болота целесообразным является его использование для

[24] Чеботина М.Я., Лисовских В.Г., Реч Г.А. и др. О динамике прохождения жидких сбросов Белоярской АЭС через Ольховское болото // Экология, РАН, Наука. 1993. – Вып. 2. – С. 88–90.

очистки сточных вод. Кроме биологического поглощения загрязнителей в торфяном болоте происходит сорбция загрязнителя торфом, отложения которого являются геохимическим барьером и природным фильтром.

Для ХМАО-Югры наиболее важным моментом в оценке систем очистки является эффективность их функционирования в зимних условиях. Опыт применения биоплато в Дании, Швеции, Норвегии, Канаде и Северной Америке подтверждает, что зимнее снижение активности незначительно по сравнению с теплым сезоном. Результаты показывают, что биологическая активность болота сохраняется даже при температуре воды 0...5 °С с высокой эффективностью удаления загрязнителей из стоков.

3.4. Результаты полевого эксперимента очистки сточных вод на естественном торфяном болоте[25]

Для полевых исследований процесса очистки хозяйственно-бытовых сточных стоков естественными торфяными болотами в северных климатических условиях был выбран участок торфяного месторождения Нагайцево (кадастровый номер 1508), расположенного в северной части ХМАО-Югры. На этот участок торфяной залежи в течение 8 лет сбрасывались канализационные стоки в объеме 16 м³/сут с одновременным сбросом ливневых и технических вод в объеме 144 м³/сут. Система очистного сооружения состоит из приемной емкости – отстойника первичного (бочки), открытого канала длиной 35 м, проложенного по суходольному участку до участка торфяного болота площадью 0,7 га (рис. 27), который является частью торфяного болота.

В районе пункта опробования № 1 растительность представлена рогозом широколистным, вейником Лангсдорфа. В районе пункта опробования № 2 отмечены болотные виды растительности: осока острая, клюква, зеленый мох (*Polytrichum commune*), кустарник. В районе пункта опробования № 3 произрастают: клюква, морошка, подбел, кассандра, зеленый мох (*Polytrichum commune*), сосна живая и сухостойная. Растительность ненарушенного грядово-мочажинного комплекса характеризуется присущими олиготрофному торфяному болоту (№ 4): клюквой, морошкой, подбелом, кассандрой, сфагновыми мхами, сосной и сухостойными деревьями.

Торфяная залежь сложена торфами верхового, переходного и низинного типов. Участок торфяного болота не был специально подготовлен для работы в качестве очистного сооружения. Спуск воды производился непо-

[25] Полевые работы выполнены доцентом кафедры ГиБЖ НГГУ, к. г. н. С.Е. Коркиным.

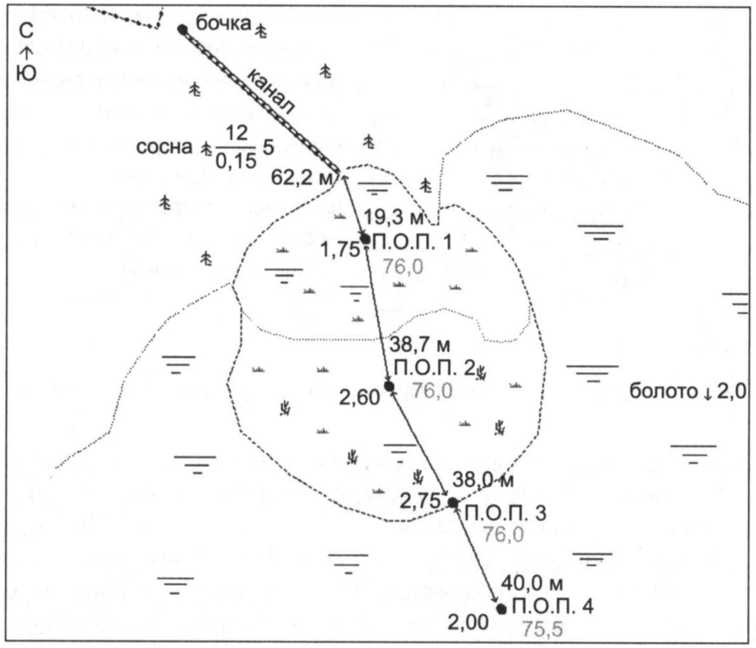

Рис. 27. Схема участка сброса канализационных вод (обозначения по тексту)

средственно в присуходольную зону болота. Далее сточная вода двигалась самотеком от берега в сторону центра болота. Границы влияния сточных вод на растительность болота установлены по снимкам. На рис. 27 ореол распространения показан пунктиром.

На рис. 27 слева от пунктов отбора проб (П.О.П.) указана глубина залежи, ниже – отметка поверхности, выше – расстояние между пунктами.

На участке натурных исследований торфяная залежь представлена верховым типом, многослойным переходным видом (рис. 28).

В пунктах опробования № 1 и 4 в верхнем полуметровом слое залегает сфагновый переходный торф, в пункте № 2 – шейхцериевый переходный, в № 3 – сфагновый мочажинный торф. В срединном слое на глубине от 0,5 до 1,0 м преобладает шейхцериево-сфагновый переходный торф. Придонные слои изучаемого окрайкового участка торфяного болота слагают гипновый и травяно-гипновый низинные виды торфа мощностью до 0,5 м.

По мере удаления от места выпуска сточных вод возрастает мощность торфа от 1,80 м (№ 1) до 2,8 м (№ 3). По направлению стока вод отмечается значительное падение отметок минерального дна.

Рис. 28. Стратиграфический разрез торфяной залежи участка сброса сточных вод

Степень разложения торфа в исследуемых пробах изменялась от 10 до 30%. В верхнем полуметровом слое торф имеет степень разложения 15%. С глубиной отмечалось повышение степени разложения до 25% в пунктах № 1 и № 4, а в пунктах № 2 и № 3 – до 20%. Лишь низинные виды торфа имели значения степени разложения 30%. Невысокие значения этого показателя способствуют распространению сточных вод вдоль уклона поверхности торфяного болота, а также вертикальной фильтрации сточных вод при снижении уровня болотных вод.

Изменение зольности торфа на сухое вещество в профиле торфяной залежи указывает на существеннее влияние сточных вод (рис. 29).

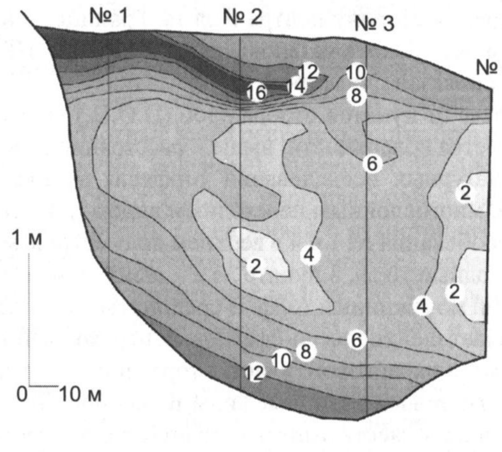

Рис. 29. Изменение зольности по профилю торфяной залежи (изолинии зольности в %)

Наиболее существенно возросла зольность в верхнем 0,5-метровом слое. В качестве «фонового» значения принята величина зольности в пункте отбора № 4 (практически неизмененный фитоценоз) в незагрязненных слоях от 0,25 до 2,0 м, которые находятся в интервале от 1,7 до 2,6%.

В точке, наиболее приближенной к месту выпуска сточных вод (№ 1), в верхнем 0,5-метровом слое величина зольности достигла 23,0%, что на порядок больше «фонового» значение. Это является следствием привноса минеральных веществ сточными водами. Значительное увеличение зольности прослеживается на расстоянии до 60 м (№ 2). При увеличении расстояния от места выпуска сточных вод до 36 м (пункт № 4) зольность снижается в 2 раза, хотя и остается выше «фоновых» значений в 5 раз. Это свидетельствует о преимущественном загрязнении сточными водами верхнего деятельного слоя из-за высокого уровня болотных вод. Другими словами, имеет место поверхностный сток загрязненных вод, а повышение зольности в верхнем слое приводит к изменению режима питания растений и создает предпосылки для изменения болотного фитоценоза.

В пункте № 3 (рис. 27) проходит граница визуально оцененного изменения растительного покрова (поверхности болота). На рис. 29 эта граница отсутствует, но следует учитывать, что зольность торфа не отражает всего спектра загрязнителей, попадающих в деятельный слой болота вместе со сточными водами, доля которых снижается при удалении от места сброса стоков.

Таким образом, влияние сточных вод затрагивает верхний деятельный слой торфяной залежи и выражается в изменении водно-минерального питания в сторону евтрофности.

Анализ агрохимических показателей торфа позволяет утверждать, что максимальное загрязнение торфяной залежи зафиксировано в пункте опробования № 1, расположенном ближе всего (19,3 м) от места выпуска сточных вод (табл. 33).

В сравнении с «фоновыми» значениями (пункт № 4, удаление от места выпуска 136 м) значение pH увеличилось в слое 0–0,25 м с 4,08 до 6,43 единицы. Гидролитическая кислотность снизилась почти в два раза, при возрастании суммы поглощенных оснований в 4 раза. Содержание ионов аммония составило в пункте № 1 в слое 0–0,25 м 2133,3 мг / 100 г с.в. (2,13%). Здесь же отмечено наибольшее содержание P_2O_5 – 188 мг / 100 г с.в. (0,19%) и Fe_2O_3 – 1787,5 мг / 100 г с.в. (1,79%).

В наиболее удаленном от места выпуска сточных вод пункте № 4 в верхнем слое 0–0,5 м значения содержания ионов аммония, фосфора и железа соответственно в 1,5; 3,0; 2,5 раза меньше в сравнении с пунктом № 1. Это свидетельствует, с одной стороны, о сорбции и ло-

Таблица 33

Агрохимические свойства торфа

Пункт опробования, глубина отбора пробы (м)	pH_{KCl}	$H_г$, мг. экв / 100 г. с.в.	S, мг. экв / 100 г. с.в.	V, %	NH_4		P_2O_5		Fe_2O_3	
					мг. экв / 100 г. с.в.	%	мг. экв / 100 г. с.в.	%	мг. экв / 100 г. с.в.	%
№ 1										
0,25	6,43	28,2	511,2	94,77	2133,33	2,13	188	0,19	1787,5	1,79
0,50	5,43	28,2	323,2	91,98	1706,67	1,71	38	0,04	536,25	0,54
0,75	3,56	78,96	112	58,65	1429,99	1,43	12	0,012	185,19	0,19
1,00	3,36	73,32	64	46,61	1226,67	1,23	9	0,009	71,5	0,07
1,25	3,47	71,06	72	50,33	1149,99	1,15	8	0,008	71,5	0,07
1,50	3,29	82,34	76	48	1089,99	1,11	7	0,007	60,78	0,06
1,75	3,31	101,52	88	46,43	1099,99	1,11	10	0,01	64,35	0,06
1,8	4,18	11,28	8	41,49	1119,99	1,12	7	0,007	10,73	0,01
№ 2										
0,25	5,23	22,56	86,32	79,28	1549,99	1,55	80	0,08	480	0,48
0,50	3,9	67,68	157,76	69,98	1359,99	1,14	15	0,02	96,53	0,097
0,75	3,69	65,4	69,6	51,55	1148,39	1,15	8,12	0,008	41,47	0,04
1,00	3,94	56,4	88	60,94	666,67	0,67	5	0,005	42,9	0,04
1,25	3,86	78,96	132	62,57	1059,99	1,06	6	0,006	71,5	0,07
1,50	3,42	45,12	28	38,29	1149,99	1,15	5	0,005	14,3	0,01
1,75	3,63	46,47	70	60,11	1493,49	1,49	9,27	0,009	73,65	0,07
2,60	3,9	59,78	96	61,63	1179,99	1,18	15	0,015	92,95	0,09
2,70	4,02	33,84	16	32,1	1299,99	1,3	22	0,022	7,15	0,01

Окончание табл. 33

Пункт опробования, глубина отбора пробы (м)	pH_{KCl}	$H_г$, мг. экв / 100 г. с.в.	S, мг. экв / 100 г. с.в.	V, %	NH_4		P_2O_5		Fe_2O_3	
					мг. экв / 100 г. с.в.	%	мг. экв / 100 г. с.в.	%	мг. экв / 100 г. с.в.	%
№ 3										
0,25	4,8	26,96	134,61	83,31	5775,83	5,78	47,8	0,05	331,6	0,33
0,50	3,8	56,4	120,16	68,06	600	0,6	11	0,01	127,5	0,13
0,75	3,53	84,6	172	67,03	1219,99	1,22	14	0,014	71,5	0,07
1,00	4,33	71,06	108	60,32	939,99	0,94	10	0,01	185,19	0,19
1,25	4,05	71,06	100	58,46	999,99	0,99	13	0,013	164,45	0,17
1,50	3,76	68,81	148	68,26	813,33	0,81	12	0,012	64,35	0,06
1,75	3,99	69,94	152	68,49	719,99	0,72	15	0,015	135,85	0,14
2,00	3,69	90,24	192	68,03	1049,99	1,05	9	0,009	235,95	0,24
2,25	4,06	73,32	140	65,63	1059,99	1,06	10	0,01	193,05	0,19
2,75	3,65	91,37	72	44,07	853,33	0,85	10	0,01	128,7	0,13
2,80	3,6	11,17	5,94	34,72	148,5	0,15	2,31	0,002	11,8	0,01
№ 4										
0,25	4,1	50,76	123,92	70,94	1626,67	1,63	56	0,06	705	0,71
0,50	3,28	67,68	176,56	78,74	1119,99	1,12	24	0.02	210	0,21
0,75	3,03	101,52	92	47,54	899,99	0,9	12	0,012	50,05	0,05
1,00	3,4	101,52	64	38,67	899,99	0,9	10	0,01	71,5	0,07
1,25	3,26	78,96	176	69,03	899,99	0,9	11	0,011	35,75	0,04
1,50	3,28	101,52	60	37,15	1059,99	1,06	10	0,01	60,78	0,06
1,75	3,06	91,37	60	39,64	1009,99	1,01	9	0,009	128,7	0,13
2,00	3,21	78,96	52	39,71	1129,99	1,13	11	0,011	100,1	0,1

кализации загрязняющих веществ сточных вод вблизи места сброса, а с другой – о миграции загрязняющих веществ в поверхностном слое (0–0,5 м).

Результаты анализов указывают на преимущественное закрепление ионов сточных вод в верхнем 25-сантиметровом слое торфяной залежи, что объясняется высоким уровнем стояния болотных вод на неосушенном массиве. Так, содержание ионов аммония в этом слое в пункте № 1 в 1,5 раза, фосфора – в 4,5 раза, железа – в 3,0 раза выше по сравнению с нижерасположенным слоем 0,25–0,5 м. Снижение содержания отмеченных выше загрязнителей с глубиной свидетельствует о замедлении процесса фильтрации в торфяной залежи и, как следствие, незначительного распространения загрязнителей в торфяной залежи ниже деятельного слоя. Однако, как будет показано ниже, показатели электропроводности и содержание иона хлора позволяют предполагать, что даже при незначительной скорости фильтрации загрязняется весь торфяной слой.

Таким образом, использование части торфяного болота в качестве КОС, без соответствующей инженерной подготовки приводит к поверхностному стоку загрязненных вод. За 8 лет эксплуатации содержание ионов аммония в торфе достигло предельной величины, равной 2% от сухой массы (что соответствует актуальной емкости поглощения) на расстоянии до 150 м.

В водных вытяжках из торфяных проб определяли электропроводность, содержание хлоридов, ионов натрия (табл. 34).

Электропроводность достаточно тесно коррелирует с зольностью торфа. Наивысшие значения электропроводности отмечаются в верхнем слое торфяной залежи пунктов № 1 и 2 и придонных пробах с естественной зольностью, минимальные значения отмечены в пункте № 4.

Если за «фоновые» значения электропроводности принять значения водных проб из торфа в пункте № 4 (136 м от места выпуска сточных вод), составляющие 150–200 мкСм/см, то электропроводность в пунктах 1, 2 и 3 превышает «фон» в 3–4 раза.

Содержание хлоридов превышало ПДК$_{рх}$ лишь в слое 0,5–1,0 м пункта № 1. Увеличение хлоридов отмечено по всей толще загрязненного участка торфяного болота, превышая значения в пункте № 4 в 5–10 раз. Это связано с тем, что хлориды не связываются поглощающим комплексом торфа и распределяются в воде торфяной залежи в соответствии со снижением их концентрации в процессе разбавления.

Аналогично на расстоянии до 100 м от места выпуска сточных вод, по всей толще торфяной залежи значения катионов натрия превышали ПДК$_{рх}$, возрастая по сравнению с «фоном» в 4–10 раз.

Таблица 34

Результаты анализа проб торфяной воды

П.О.П	Глубина, м	Электропроводность, мкСм/см	Хлориды, мг/л	Натрий, мг/л
1	0–0,25	886	170	58
	0,25–0,5	1096	250	–
	0,5–0,75	1301	380	–
	0,75–1,0	1186	340	–
	1,0–1,25	1008	270	–
	1,25–1,5	873	220	–
	1,5–1,75	648	170	–
2	0–0,25	966	200	140
	0,25–0,5	868	215	342
	0,5–0,75	702	170	330
	0,75–1,0	663	165	242
	1,0–1,25	665	160	242
	1,25–1,5	638	160	460
	1,5–1,75	734	180	360
	1,75–2,0	–	–	–
	2,0–2,25	–	–	–
	2,25–2,60	969	236	427
3	0–0,25	554	105	–
	0,25–0,5	890	205	–
	0,5–0,75	770	195	–
	0,75–1,0	739	195	–
	1,0–1,25	764	220	–
	1,25–1,5	680	205	–
	1,5–1,75	746	195	–
	1,75–2,0	701	200	–
	2,0–2,25	874	250	–
	2,25–2,5	–	–	–
	2,5–2,75	862	220	–
4	0–0,25	452	109	153
	0,25–0,5	450	111	342
	0,5–0,75	273	63	360
	0,75–1,0	232	55	242
	1,0–1,25	218	44	310
	1,25–1,5	171	38	410
	1,5–1,75	146	29	575
	1,75–2,0	200	44	541

В целом наибольшие изменения состояния поверхности торфяного болота отмечаются для площадки в районе пункта № 1. Здесь произошла смена растительного сообщества: отмечено обильное зарастание участка рогозом широколистным, осокой, кустарниками, вейником Лангсдорфа. В пункте № 2 такие изменения выражены слабее: преобладают осока, клюква, зеленый мох, кустарник. В пункте № 3 практически сохранилось аборигенное растительное сообщество: клюква, морошка, подбел, кассандра, зеленые мхи, сосна и сухостойные деревья.

Можно сделать предварительный вывод о том, что за весь период эксплуатации части торфяного болота в качестве очистного сооружения изменения затронули лишь примерно 40–50% его площади. В месте выпуска стоков установилось устойчивое сообщество водных высших растений: осока, рогоз и кустарник, которые играют важную роль естественного барьера, фильтра, поглотителя загрязняющих веществ сточных вод. Такую часть болота можно рассматривать как своеобразное биоплато, расположенное в естественном ландшафте торфяного болота.

3.5. Общая характеристика опытно-промышленной технологии очистки сточных вод на подготовленном участке торфяной залежи

3.5.1. Природно-климатические и техногенные особенности

Опытно-промышленная технология очистки бытовых сточных вод с использованием осушенных участков торфяных залежей разработана для территории ХМАО-Югры и других территорий со сходными природно-климатическими условиями.

Застройка территории ХМАО-Югры имеют следующие особенности[26]:

– высокая заболоченность территории, превышающая для большинства районов 50%;
– совмещение инфраструктуры нефте- и газодобычи с территорией торфяных болот;
– большое количество вахтовых поселков с числом жителей до 1000 человек и объемом сточных вод до 100 м^3 в сут, удаленных от транспортной инфраструктуры, расположенных в труднодоступных местах, но вблизи от торфяных болот.

[26] Лопатин К.И., Сладкопевцев С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазоносных районов лесо-болотной зоны Западной Сибири // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 1.

Климат данного района отличается суровостью и резкими перепадами температур, делающими малоэффективными традиционные способы очистки бытовых сточных вод (биологические пруды, поля фильтрации, биофильтры, фитомелиорация и др.)

Средняя годовая температура воздуха составляет –1,9 °С. Самым теплым месяцем является июль со среднемесячной температурой +17,4 °С, а самым холодным – январь (–20,6 °С).

Устойчивый переход среднесуточных температур через 0 °С происходит во 2-й декаде апреля и в 1-й декаде октября.

Продолжительность периода со среднесуточной температурой выше +10 °С составляет 90 дней. Первые заморозки наступают в среднем 9 сентября, последние – 27 мая.

На климат данной территории существенное влияние оказывает снежный покров. Время выпадения снега близко к дате перехода температуры через 0 °С. Первое выпадение снега приходится в основном на 13 октября, а устойчивый покров формируется к концу октября.

Средняя глубина снега составляет 60 см. Среднее число дней со снежным покровом – 192.

Средняя интенсивность оттаивания болот при наличии снежного покрова составляет 0,76 см/сут, а полное оттаивание происходит в конце июня – начале июля.

Промерзание торфяной залежи по многолетним наблюдениям представлено в табл. 35.

Таблица 35

Глубина промерзания торфяной залежи болот
(Сургутское Полесье), см

Дата	Обеспеченность, %											
	1	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**95**
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I/XI	27	19	16	12	10	8	7	5	4	2	1	0,5
I/XII	35	30	27	24	21	18	14	12	9	8	6	5
I/X	42	39	35	32	29	27	23	19	17	15	13	11
I/II	51	46	43	40	35	33	29	26	23	21	19	17
I/III	58	53	50	45	41	38	36	31	28	26	24	22
I/IV	62	58	55	51	47	43	39	35	33	31	27	25
Конец зимнего периода	64	61	57	53	49	45	42	39	36	33	29	27

При проектировании и строительстве канализационных сетей и сооружений в условиях сурового климата требуется учитывать многообразие

условий и решать сложные и разнообразные задачи, главными из которых являются:

- обеспечение устойчивости сетей и сооружений;
- защита всех элементов систем водоотведения от их перемерзания;
- создание нормальных температурных условий в сооружениях биологической очистки (не ниже +10 °С) и на выпуске сточных вод в водоем (не ниже +1 °С);
- применение очистных сооружений высокой индустриальной сборности или заводской готовности, обеспечивающих минимальное привлечение человеческого труда и максимальное сокращение сроков строительства, простых в управлении, обладающих возможностью работать при разнопеременных гидравлических и органических нагрузках и производящих глубокую очистку в условиях выпуска сточных вод в перемерзающие и рыбохозяйственные водоемы;
- использование наиболее экономичных схем и конструктивных решений, обеспечивающих минимальные затраты при строительстве и эксплуатации систем водоотведения.

Наряду с отмеченными особенностями необходимо учитывать и другие, прямо или косвенно влияющие на организацию системы водоотведения, такие как уклад жизни и состав населения (особенно при вахтовом методе строительства), стоимость электроэнергии и обеспеченность ею, наличие транспортных связей, цикличность поступления сточной жидкости, проблемы, обусловленные авариями на канализационных сетях и сооружениях, линиях электропередач.

3.5.2. Характеристика хозяйственно-бытовых сточных вод

При формировании крупнейшего топливно-энергетического комплекса России на севере Западной Сибири за сравнительно короткое время было создано более 200 вахтовых поселков, представляющих собой жилой комплекс гостиничного типа с ограниченной структурой общественного обслуживания и водопользования (25... 50 л на 1 чел. в 1 сут) численностью до 1000 человек. Дискомфортные условия проживания рабочих в вахтовых поселках обусловливают приток на очистные сооружения высококонцентрированных бытовых сточных вод. Приток происходит только в определенные часы (утром, в обед, вечером), а в остальное время ослабевает либо полностью отсутствует.

Состав бытовых сточных вод достаточно типичен, особенно для малых населенных пунктов, поэтому в качестве аналога приняты сред-

ние показатели, установленные по канализационным очистным сооружениям семи вахтовых поселков ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» (табл. 36).

Таблица 36

Состав бытовых сточных вод

Показатель состава	Ед. измерения	Средняя величина показателя
pH	ед. pH	7,6
Удельная электропроводность	см/м	0,102
Взвешенные вещества	мг/дм^3	62
Сухой остаток	мг/дм^3	612,2
БПК 5	мгO_2/дм^3	43,1
Перманганатная окисляемость	мгO_2/дм^3	51
Аммоний-ион NH_4^+	мг/дм^3	32,4
Нитрит-анион NO_2^-	мг/дм^3	1,24
Фосфаты	мг/дм^3	0,95
Хлорид-анион Cl^-	мг/дм^3	62,5
Нитрат-анион NO_3^-	мг/дм^3	0,59
Сульфат-анион SO_4^{2-}	мг/дм^3	28,9
Нефтепродукты	мг/дм^3	0,64
Анионные ПАВ	мг/дм^3	3,21

Выпуск бытовых сточных вод, прошедших все стадии очистки, должен обеспечивать нормативы качества воды в контрольном створе реки, принимающей стоки (табл. 37).

Из анализа данных табл. 34 и 35 следует выделить те показатели, которые существенно разнятся для исходной бытовой сточной воды и сбросной воды по нормативам качества:

- взвешенные вещества;
- БПК 5;
- азот аммонийный;
- азот нитритов;
- фосфаты;
- поверхностно активные вещества.

Эти показатели и являются определяющими в оценке эффективности очистного сооружения на участке торфяной залежи.

Таблица 37

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного водопользования

Показатель состава	Ед. измерения	$ПДК_{р.х.}$
pH	ед. pH	6,5–8,5
Взвешенные вещества	мг/дм^3	+0,25 (0,75)
Сухой остаток		1000
Растворенный кислород		≥ 6,0
$БПК_5$	мгO_2/дм^3	2,0
Аммоний-ион NH_4^+	мг/дм^3	0,5
Нитрит-анион NO_2^-		0,08
Фосфаты		0,2
Хлорид-анион Cl^-		300
Нитрат-анион NO_3^-		40,0
Сульфат-анион SO_4^{2-}		100
Железо общее		0,1
Натрий (катион)		120,0
С ПАВ		0,5
Нефтепродукты		0,05
Жизнеспособные яйца гельминтов		Отсутствие в 25 л
ТКБ	КОЕ в 100 мл	≤ 100

3.5.3. Технологические основы очистки сточных вод на подготовленном участке торфяной залежи

Основы технологического процесса

Очистка бытовых сточных вод осуществляется в две стадии: механическая очистка, аэробная биологическая очистка.

Процесс механической очистки основан на седиментации взвесей. Наличие двух отстойников позволяет отстаивать воду в каждом из них в течение 10 часов при суточном расходе сточной воды около 100 м^3. Осадок из отстойника откачивается насосом и нейтрализуется в процессе компостирования кислым торфом.

Осветленная вода, прошедшая первичное отстаивание и освобожденная от крупных и тяжелых загрязнителей, поступает в сооружения биологической очистки.

Аэробная биологическая очистка производится в естественных условиях путем фильтрации сточной воды на подземных полях подземной фильтрации, в качестве которых используется осушенная торфяная залежь.

Торф является капиллярно-пористым телом и в силу этого обладает развитой геометрией порового пространства, способного: обеспечивать транзитную фильтрацию сточных вод через свою толщу; адсорбировать и удерживать в своей структуре растворенные и взвешенные загрязнители, включая коллоидно-дисперсные фракции. Торф в залежи характеризуется пятью видами поглотительной способности к загрязняющим веществам: механической физической, физико-химической, химической и биологической. Торф обладает высокой удельной поверхностью 200–500 м^2/г и более, что гораздо выше, чем у песчано-гравийной смеси), а следовательно, высокой емкостью сорбции.

Учитывая широкий диапазон скорости фильтрации, что зависит от вида и степени разложения торфа, предпочтительно выбирать торфяную залежь для очистного сооружения со средними и высокими фильтрационными характеристиками, учитывать в торфяной залежи наличие водных жил и гидравлических мешков, пограничных горизонтов на участке строительства КОС.

Способность торфа к ионному обмену связана с его химической природой. В водной среде ионообменные функциональные группы диссоциируют и способны обменивать ионы водорода на ионы металла, находящиеся во внешнем растворе (т. е. в бытовой сточной воде). В результате происходит «сшивание» диссоциированных ионогенных групп через ион металла. Поскольку торфяная частица представляет собой «рыхлый» комплекс, проницаемый во всем объеме для жидкостей, то ионный обмен будет происходить не только по периферии частиц, но и в их объеме.

Торф – это не только ионообменник, но и природный сорбент гидрофильного типа. Практическое и масштабное тестирование поглотительных свойств торфяных фильтров при очистке сточных и доочистке промышленных сточных вод, содержащих замасливатели, нефтепродукты, взвешенные вещества, тяжелые металлы, было выполнено в работах ВНИИ торфяной промышленности, ИПИПРЭ НАН Беларуси, ТГТУ[27].

Следует отметить, что при попадании в торф аммиака или иных азотсодержащих соединений (метиламин, пиридин, диметиламин, хинолин и др.) они способны образовывать устойчивые комплексы с ионами раз-

[27] Михайлов А.В., Ким А.Н. Очистные сооружения поверхностных сточных вод с территорий деловой зоны «Пулково-3» // Торф и бизнес. – 2006. – № 2 (4). – С. 41–43.

личных металлов (Cu, Ni, Cd, Ag, Co, W, Mn и др.), что усиливает эффект очистки сточных вод.

Эффективность очистки сточных вод с использованием торфяной залежи определяется также деструкцией вредных веществ и подавления патогенных микроорганизмов за счет биохимических процессов при взаимодействии со средой и аборигенными микроорганизмами торфа.

Естественная аэрация на осушенном торфяном болоте обеспечивает доступ кислорода к деятельному поверхностному слою, снабжая растительный покров, аэробные микроорганизмы, осветленные сточные воды в открытых отводящих каналах необходимым его количеством. Это способствует протеканию биохимических реакций, окислительных процессов, приводящих к трансформации органических загрязнителей.

Таким образом, подготовленное (осушенное) торфяное болото или его участок выполняют те же функции, что и инертные материалы неорганической природы (щебень, гравий, песок, шлаки и т. п.) и искусственные биопрепараты, химические реагенты, используемые в различных элементах, способах традиционных технологий очистки сточных вод.

Технологическая схема производственного объекта

Технологическая схема производственного объекта показана на рис. 30.

Бытовые сточные воды от поселка поступают в два заглубленных в грунт непроточных отстойника периодического действия по 25 м^3 каждый.

Осветленная вода из отстойников подается по подземному самотечному или напорному канализационному коллектору через распределительный колодец на очистное сооружение, организуемое на участке осушенной торфяной залежи, которая включает:

- систему распределения стоков, состоящую из заглубленных ниже глубины промерзания перфорированных дренажных труб, расположенных по центру между осушительно-принимающими каналами и параллельно им;
- поля подземной фильтрации, состоящие из осушенной торфяной залежи в соответствии с депрессионной кривой в залежи при норме осушения 1,0 м в центе карты от поверхности залежи;
- открытых осушительно-принимающих каналов, обеспечивающих создание депрессионной кривой и прием очищенных сточных вод;
- систему каналов, обеспечивающих отвод и транспортировку очищенных сточных вод к водоприемнику (соединительный и сбросной каналы);
- шлюз-регулятор и насосная станция (при необходимости).

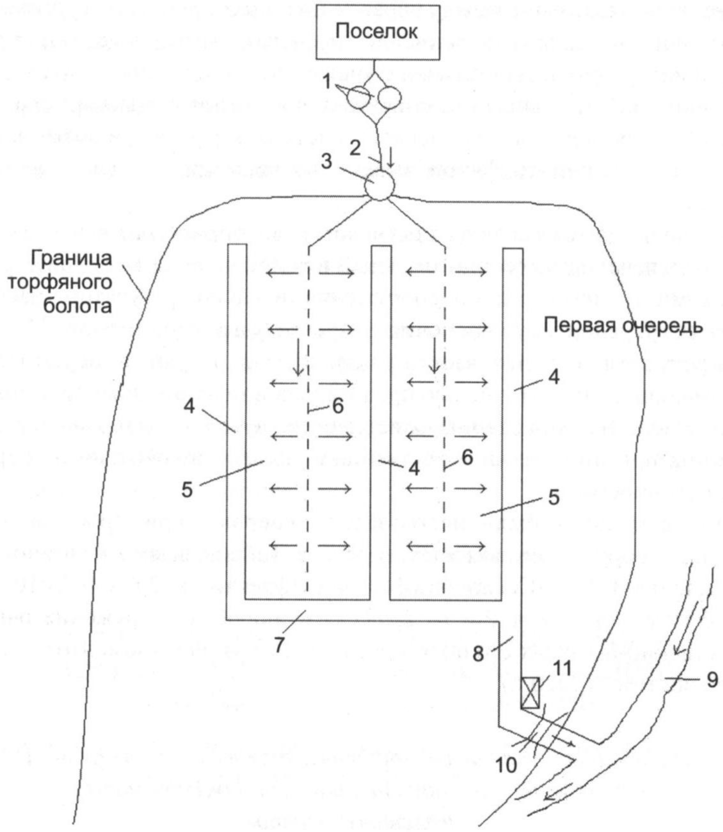

Рис. 30. Принципиальная схема сооружения очистки бытовых сточных вод с использованием в качестве полей фильтрации осушенной торфяной залежи: 1 – отстойники; 2 – канализационный коллектор; 3 – распределительный колодец; 4 – осушительно-принимающие каналы; 5 – торфяная залежь – подземные поля фильтрации; 6 – водораспределительные трубопроводы; 7 – соединительный канал; 8 – сбросной (транспортирующий) канал; 9 – водоприемник; 10 – шлюз-регулятор; 11 – насосная станция

Движение сточной воды через торфяную залежь обусловлено появлением после осушения депрессионной кривой между осушительно-принимающими каналами. Возможность движения воды через подстилающие торфяные отложения горизонты требует выбора участка залежи для строительства КОС с подпором воды в залежь или с невысокими фильтрационными характеристиками минерального грунта.

При этом расстояние между параллельными открытыми осушительно-принимающими каналами, площадь торфяных карт определяются условиями фильтрации воды в залежи с учетом объема сточных вод, их скорости, а срок работы очистного сооружения – поглотительными свойствами торфа, изменением химического состава торфа и фильтрационных свойств осушенной торфяной залежи во времени при ее уплотнении (осадке).

Очищенная сточная вода поступает в водоприемник через систему сброса, включающую соединительный и водосбросной канал с гидротехническими и инженерными сооружениями (шлюз-регулятор, насосная станция), транспортирующий очищенную воду в реку-приемник. При этом шлюз-регулятор обеспечивает подпор воды в открытых осушительно-принимающих каналах с целью предотвращения их полного промерзания зимой. Насосная станция позволяет очищенную воду направить в водоприемник при отсутствии естественных уклонов от очистного сооружения к водоприемнику.

Эта технология была использована впервые при проектировании очистных сооружений вахтовых поселков Тайлоковского нефтяного месторождения ОАО «Славнефть-Мегионнефтегаз» в 2008 и 2010 гг., а способ получил патент РФ № 2397149 «Способ и сооружение очистки хозяйственно-бытовых сточных вод с использованием элементов экологической системы (2010 г.).

Требования к участкам торфяных залежей, используемым для проектирования очистных сооружений малых населенных пунктов

Участки торфяных залежей для проектирования очистных сооружений рекомендуется выбирать в непосредственной близости от водоприемников, обеспечивающих возможность осушения залежи мощностью не менее 2 м.

По стратиграфии предпочтительны участки торфяных болот с преобладающими торфами – среднеразложившимися (степень разложения от 15 до 25%) всех типов.

К качественным характеристикам торфяных залежей, необходимым для расчета параметров очистных сооружений, относятся стратиграфия и распределение общетехнических свойств торфа в залежи. Кроме того, участки торфяных болот, используемые в качестве очистных сооружений, должны соответствовать природоохранным требованиям, установленным ст. 44 Водного кодекса РФ, а именно:

- не иметь статус особо охраняемых водных объектов;

- находиться за границами зон, округов санитарной охраны источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения;
- находиться за границами первой, второй зон округов санитарной (горно-санитарной) охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов;
- не содержать запасы природных лечебных ресурсов.

После осушения участок торфяного болота приобретает признаки техногенного объекта, отличающего его от исходной торфяно-болотной экосистемы:

- уменьшение гидрофильности местообитаний болотных растений;
- уменьшение обводненности, повышение плотности и газонасыщенности торфяных отложений;
- увеличение прочности и несущей способности поверхности;
- развитие аэробных микробиологических сообществ в торфяной залежи выше уровня болотных вод.

Принципиальные (предварительные) оценки технологического режима

Расчет потребной площади участка торфяной залежи и оценка длительности работы очистного сооружения по сорбционным характеристикам торфа

Объем неосушенной торфяной залежи $V_т$, необходимый для очистки сточных вод заданного расхода в течение года, определяется:

$$V_т = m_г / E_{акт}, м^3,$$

где $E_{акт}$ – емкость актуального поглощения торфа в неосушенном состоянии по загрязняющему веществу, мг/м^3; $m_г$ – годовое поступление загрязняющего вещества со сточными водами мг/год.

$$m_г = g \cdot C \cdot T, мг/год,$$

где g – суточный расход сточных вод, м^3/сут; C – концентрация загрязняющего вещества в сточной воде, мг/м^3; T – число дней в году, сут.

Емкость актуального поглощения определяется для фильтрующего слоя торфяной залежи в неосушенном состоянии как средневзвешенная величина для отдельных слоев торфа с учетом его вида, степени разложения и мощности.

Допустимо оценивать этот показатель очистного сооружения по аммонию, в больших количествах присутствующему в сточных водах. При этом емкость актуального поглощения по азоту следует принимать по табл. 38.

Таблица 38

Емкость обменного и актуального поглощения различных торфов[28]

Вид торфа	Степень разложения торфа (R), %	Обменное поглощение		Емкость актуального поглощения		pH аммонизированного торфа
		мг-экв. на 100 г орг. в.	В пересчете на азот, % к с. в.	мг-экв. на 100 г. орг. в.	В пересчете на азот, % к с. в.	
Др.-осоковый	45	214,5	2,41	82,8	0,93	7,1
Тростниковый	30	184,5	2,39	75,7	0,98	7,0
Тростниковый	35	193,8	2,38	83,9	1,03	7,0
Тростниковый	45	214,6	2,73	96,0	1,22	7,0
Тростниковый	50	226,5	2,60	83,6	0,96	7,2
Осоковый	35	156,9	1,97	98,8	1,29	6,9
Др.-осоковый переходный	30	165,8	2,22	177,7	2,38	7,2
Сфагновый переходный	15	153,7	2,10	169,6	2,29	7,1
Сосново-пушицевый	50	307,8	4,21	203,6	2,75	7,0
Магелланикум-торф	10	152,3	2,11	164,6	2,28	7,0
Магелланикум-торф	20	254,8	3,52	198,4	2,74	6,9
Сфагново-мочажинный	5	180,1	2,49	141,1	1,95	6,8

Емкость актуального поглощения по табл. 38 устанавливается в процентах к сухому веществу торфа. Для определения массы сухого торфа в фильтрующем слое необходимо использовать содержание влаги и плотность торфа, которые определяются при инженерно-геологических изысканиях на торфяном болоте для неосушенного состояния.

Площадь нетто подземных полей фильтрации на весь срок работы очистного сооружения определяется по формуле:

$$F = t \cdot V_т / h_{полн.ф.сл.},\ м^2,$$

где t – плановое число лет работы очистного сооружения, лет; $h_{полн.ф.сл.}$ – полная мощность фактически работающего слоя торфяной залежи (не менее 1 м).

Колебания УГВ в осушенных торфяных залежах в течение года имеют амплитуду до 40 см. На это влияет ритм атмосферных осадков, а также не-

[28] Белькевич П.И., Чистова Л.Р. Торф и проблема защиты окружающей среды. – Минск: Наука и техника, 1979. – 64 с.

равномерность подачи в подающий канал сточных вод. Кроме того, часть загрязнителя будет мигрировать с капиллярной водой над УГВ. Ниже УГВ в торфяной залежи скорости фильтрации растворов существенно снижаются, но сохраняются процессы диффузии загрязнителей в нижележащие слои торфа, примыкающие к слою активной фильтрации. С учетом этого процессы очистки сточных вод будут происходить в слое торфа в интервале не менее 1–1,5 м, что зависит от мощности, стратиграфии торфяной залежи, условий ее водного питания, характера осушения.

Общую длину карт фильтрации при заданной ширине 20 м на верховой торфяной залежи (18 м ширина нетто с учетом ширины осушительных каналов) и 40 м на переходной и низинной (38 м ширина нетто) находим по формуле:

$$L = F / 18\ (38),\ м,$$

где L – длина полей фильтрации.

Для надежной работы очистного сооружения рекомендуется принимать значения L не менее 50 м. В том случае, когда требуемая длина поля фильтрации превышает 50 м, необходимо предусматривать строительство дополнительных последовательно расположенных полей фильтрации, которые рационально размещать в сторону водоприемника. По мере выхода из эксплуатации первого поля и его рекультивации в работу включается следующий участок (рис. 31). Расчетные параметры зависят от времени эксплуатации и объемов сточных вод.

Для очистки одного кубического метра бытовой сточной воды в течение года требуется от 5 до 10 м^3 неосушенной торфяной залежи в зависимости от ионообменно-сорбционных свойств торфа. Поля подземной фильтрации по этим условиям на 1 гектар площади способны обеспечить срок работы очистного сооружения до 20 лет.

Следует отметить, что расстояние между подающим и осушительно-принимающим каналами может меняться в зависимости от фильтрационных и сорбционных характеристик торфа, а также от мощности торфяного слоя.

При увеличении скорости фильтрации и снижении сорбционных свойств торфа за единицу времени расстояние между каналами увеличивается, и наоборот.

При уменьшении мощности торфяной залежи расстояние между каналами (подающего и осушительно-принимающего) уменьшается с целью сохранения «работоспособной» депрессионной кривой уровня воды, обеспечивающей скорость фильтрации. С ростом перепада уровней воды в каналах и уменьшении расстояния между каналами увеличивается скорость фильтрации.

Рис. 31. Условная схема очистного сооружения на торфяном болоте

В расчетах фильтрации сточных вод важно не допустить их подпора в подающем канале. Поэтому к особенностям исходных данных относится мощность слоя активной фильтрации в осушенной торфяной залежи, обладающего повышенными скоростями движения и расходами воды (растворов) вблизи УГВ. Этот слой с учетом микроколебаний УГВ можно принять мощностью до 10 см.

Периметр подающих каналов на болотном участке принимается постоянным при стабильном объеме поступающих стоков и определяется следующим выражением:

$$V_{ст.} = h_{ф.сл.} \cdot P \cdot L_{10},$$

$$P = V_{ст.} / (h_{ф.сл.} \cdot L_{10}),$$

где $V_{ст.}$ – суточный объем поступающих стоков – 100 м^3; $h_{ф.сл.}$ – толщина активного фильтрующего слоя (в настоящее время это экспертная величина); P – периметр подающего канала, в котором фильтрация происходит в две стороны от его оси; L_{10} – путь фильтрации стоков на картах с торфом низкой и средней степени разложения за сутки (10 м).

Тогда при названных условиях периметр при слое фильтрации 10 см (P_{10}) будет равен 100 м.

В результате при суточной работе периметра фильтрации, способного «переработать» весь объем стоков, длина одного подающего канала ($L_к = P_{10}/2$) составит 50 м.

Кроме объемных параметров следует оценивать влияние на параметры сооружения водопропускной способности торфяной залежи. Так, при $V_{ст}$ = 100 м^3, $h_{ф.сл.}$ = 0,1 м; коэффициенте фильтрации торфяной залежи (например, $k_ф$ = 0,00001 м/сек или 0,0864 м/сут) длина одного подающего канала ($L_К = P / 2$) составит $L_1 = V_{ст} / (2h_{ф.сл.} \cdot k_ф) = 100 / (0{,}2 \cdot 0{,}0864) \approx 5{,}79$ км. Если $k_ф$ = 0,0001 м/сек, то $L_к \approx 0{,}58$ км; если $k_ф$ = 0,001 м/сек, то $L_к \approx 0{,}06$ км.

Таким образом, с увеличением скорости фильтрации длина подающего канала уменьшается, что следует учитывать для практических целей и расчетов при выборе участка торфяной залежи ($k_ф \geq 0{,}001$ м/сек).

Количество каналов (подающих – $n_с$ и осушительно-принимающих – $n_п$) связано соотношением: $\Sigma n_п = \Sigma n_с + 1$.

По разным причинам один подающий канал может быть заменен несколькими каналами (длина каждого – $L_п$), но обеспечивающими расчетную суммарную длину.

Накопление и деструкция загрязнителей будет происходить в результате их сорбции торфом, микробиологической деятельности, окислительно-восстановительных реакций, растворения и разбавления, а также за счет поглощения их высшей водной растительностью осушительно-принимающих каналов. Каждый из этих эффектов имеет свои характерные особенности, которые находятся в сложной взаимосвязи, определяющей длительность процесса, что необходимо учитывать при оценке времени эксплуатации КОС в целом или ее отдельных участков, поскольку сточные воды в подающие каналы могут поступать попеременно.

При расчете размера подающего канала следует учитывать сезонность. Для летнего периода характерна большая поверхность открытой воды, что приводит к увеличению испарения и повышению концентрации загрязнителя. Снижение влияния этих факторов решается путем использования перфорированной трубы, накрытой сырой торфяной засыпкой.

Зимой образование льда может привести к подпору воды, деформации канала и нарушению фильтрационного потока. Основным условием

должна быть глубина подающего канала. Труба должна лежать ниже уровня промерзания на глубине не менее 70 см. Тогда при диаметре трубы (не более 30 см) глубина канала должна быть не менее 1,0 м. При длине подающего канала, например, 50 м он должен вмещать в себя за сутки до 100 м^3, его площадь при глубине в 1 м должна составлять 50 м^2, а ширина подающего канала в средней части – не более 1 м.

Для увеличения срока работы очистного сооружения не следует подавать в среднем в течение года (за исключением начала зимы) в подающий канал более чем трети суточной доли стоков.

Инженерное обеспечение фильтрации сточной воды через торфяную залежь

Принципиальная схема фильтрации сточной воды через торфяную залежь приведена на рис. 32.

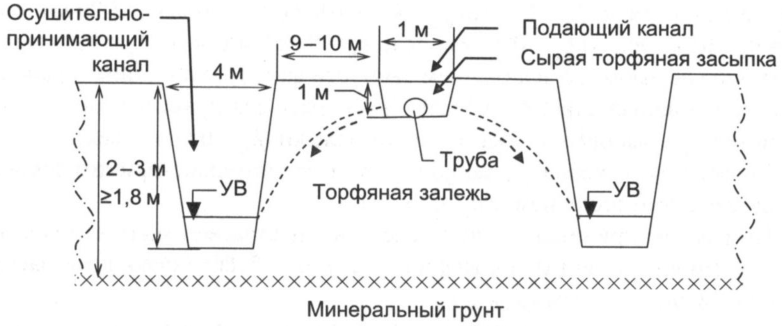

Рис. 32. Фрагмент профиля условного очистного сооружения на торфяной залежи (приведенные параметры поясняются в тексте)

Осушительно-принимающие каналы эксплуатационной глубиной 1,8÷2,0 м в осушенном состоянии выполняются в торфяной залежи параллельно друг другу с расстоянием между ними в соответствии с нормами технологического проектирования предприятий по добыче торфа (ВНТП 19-86), что обеспечивает создание между каналами депрессионной кривой с удалением 1 м от дневной поверхности в центре торфяной карты.

Эксплуатационная глубина осушительно-принимающих каналов позволяет осуществлять эксплуатацию данного сооружения на протяжении не менее нескольких десятков лет. Эти же каналы по внешнему контуру играют роль ловчих каналов, перехватывающих стоки, поступающие со стороны суходола, поэтому загрязнение не выходит за пределы очистного

сооружения. Параметры осушительно-принимающих каналов необходимо проверять гидравлическим расчетом на пропуск вод весеннего половодья (расчетный период с 21.04 до 06.05).

В зимний период в Западной Сибири толщина льда в каналах может доходить до 0,7 м, как и глубина промерзания неосушенной торфяной залежи, а осушенной – до 1,0 м. Поэтому перфорированные трубы в основании подающего канала следует засыпать торфом, а УБВ держать вблизи поверхности карты. Эксплуатационная глубина заложения подающих труб (каналов) – 1,0 м.

Все перечисленные признаки при проектировании и строительстве очистных сооружений с использованием торфяных залежей являются взаимосвязанными и благодаря их совместному воздействию обеспечивают достижение планируемого технического результата работы КОС.

В зимний период процесс фильтрации сточной воды не останавливается за счет положительной температуры в торфяной залежи и сравнительно быстрого движения воды подо льдом. Сточные воды, поступающие в подающие трубы, также обладают повышенной температурой, что позволяет сохранять водоток под зоной промерзания.

При переходе к зимнему режиму в осушительно-принимающих каналах устанавливают с помощью шлюза-регулятора необходимый уровень воды, обеспечивающий формирование ледяного и непромерзающего слоев у основания каналов. В этом случае фильтрующаяся через торфяную залежь вода будет поступать в осушительно-принимающий канал через непромерзающие стенки нижней части, а также его дно, и двигаться по нему, а затем к сбросному каналу подо льдом. Очищенная зимой вода через сбросной канал с прикрытым шлюзом подается в реку-водоприемник.

В зимний период при снижении колебаний уровней болотных вод фильтрация сточной воды и ее очистка будет происходить в незамерзающем слое торфяной залежи, расположенном ниже глубины промерзания до поверхности депрессионной кривой около 0,3 м в самые холодные периоды.

Полное промерзание воды может произойти в сбросном канале, поскольку расход воды незначителен (около 1 л/сек). В период таяния снежного покрова уровень воды в каналах повышается, и сток воды может происходить по промерзшей поверхности до водоприемника.

3.5.4. Эффективность работы очистного сооружения

Осаждение взвесей

Эффективность очистки загрязняющих веществ на каждой стадии участка торфяного КОС показана в табл. 39.

Таблица 39

Эффективность очистки хозяйственно-бытовых сточных вод

Показатель состава	Концентрация до очистки, мг/л	Эффективность механической очистки, %	Концентрация после механической очистки, мг/л	Эффективность биологической очистки, %	Концентрация после биологической очистки, мг/л	ПДК р. х., мг/л
pH	7,6	–				6,5–8,5
Взвешенные вещества	62	60	24,8	95	1,2	+0,25 (0,75)
БПК 5	43,1	20	34,5	95	1,7	2,0
Аммоний-ион NH_4^+	32,4	10	29,2	95	1,5	0,5
Нитрит-анион NO_2^-	1,24	–	1,24	95	0,06	0,08
Фосфаты	0,95	10	0,855	95	0,043	0,2
Хлорид-анион CL^-	62,5	–	62,5	–	62,5	300
Нитрат-анион NO_3^-	0,59	–	0,59	95	0,03	40
Сульфат-анион SO_4^{2-}	28,9	–	28,9	–	28,9	100
Нефтепродукты	0,64	–	0,64	95	0,03	0,05
Анионные ПАВ	3,21	–	3,21	95	0,16	0,5

По СНиП 2.04.03-85[3] эффект осветления в первичных отстойниках при продолжительности отстаивания 7200 с (10 часов) в слое 0,5 м составляет 60% при начальной концентрации взвешенных веществ 200 мг/л.

При отстаивании воды, ионообменно-сорбционных и биохимических процессах происходит снижение концентрации загрязнителей, фиксируемых величинами БПК и ХПК, примерно на 10–40%, количества бактерий общего счета, кишечной палочки и яиц гельминтов на 35–75%, тяжелых металлов на 21–45%[29], фосфатов на 8–10%, азота общего на 8–10%.

Очистка сточных вод от растворенных веществ

Из многообразия органических компонентов торфа для ионного обмена прежде всего имеют значение гуминовые кислоты и фульвокислоты,

[29] Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под общ. ред. В.Н. Самохина. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройидат, 1981. – 639 с.

легкогидролизуемые вещества и лигнин (табл. 40). Все они содержат ряд функциональных групп: COOH, NH_2OH, OCH_2 и др., которые способны к ионному обмену в водонасыщенном состоянии . Такие реакции позволяют «извлекать» из водной среды ионы различных неорганических элементов – Ca, Mg, Fe, N, K, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Hg и других – и удерживать их в структуре торфяного агрегата.

Таблица 40

Групповой состав органической части торфа

Тип торфа	Название групп	Средние значения, % на органическую массу	Пределы изменений
Низинный	Б	4,2	1,2–12,5
	ВР + ЛГ	25,2	9,2–45,8
	ГК	40,2	18,6–55,5
	ФК	15,5	5,0–27,9
	Ц	2,4	0–9
	Л	12,3	3,3–26,2
Переходный	Б	6,6	2,2–13,7
	ВР + ЛГ	23,9	6,9–51,5
	ГК	37,8	11,7–52,5
	ФК	15,7	8,6–33,2
	Ц	3,6	0–15,8
	Л	11,4	1,9–23,9
Верховой	Б	7	1,2–17,7
	ВР + ЛГ	35,8	9–63,1
	ГК	24,7	4,6–49,9
	ФК	16,6	10–30,4
	Ц	7,3	0,7–20,7
	Л	7,4	0–21,1

Примечание. ФК – фульвовые кислоты – растворимая в воде часть гуминовых кислот; ВР – водорастворимые соединения; ЛГ – легкогидролизуемые соединения; ГК – гуминовые кислоты; Ц – целлюлоза; Л – лигнин.

Эффект очистки от органических загрязнений и аммиака на полях подземной фильтрации не ниже 95%.

Данные табл. 39 свидетельствуют о том, что бытовые сточные воды вахтовых поселков, очищенные на полях подземной фильтрации участка торфяной залежи, соответствуют по всем показателям рыбохозяйственным нормативам качества воды водоприемника, кроме иона аммония.

При сбросе очищенных сточных вод нормативы качества воды, в том числе по иону аммония, должны соблюдаться при их определении в контрольном створе перед водоприемником. Предельная допустимая концен-

трация, соответствующая нормативу допустимого сброса, по иону аммония составляет около 7,5 мг/л, что соответствует 85% эффективности очистки. Концентрация этого иона в сточной воде после биологической очистки составляет 1,5 мг/л. Это позволяет считать функцию очистного сооружения выполненной.

Общую емкость поглощения следует подразделять на потенциально возможную, или полную, и актуальную, или эффективную, характерную для торфа в данных конкретных условиях. При использовании торфяного болота как КОС имеют дело в основном с актуальной емкостью поглощения.

Полная емкость поглощения аммиака торфом $Q_{\text{полн}}$ определяется суммой различных эффектов:

$$Q_{\text{полн}} = q_{\text{обм}} + q_{\text{хим}} + q_{\text{физ}} + q_{\text{мех}} + q_{\text{биол}},$$

где $q_{\text{обм}}$ – обменное поглощение; $q_{\text{хим}}$ – химическое поглощение; $q_{\text{физ}}$ – физическое поглощение; $q_{\text{мех}}$ – механическое поглощение; $q_{\text{биол}}$ – биологическое поглощение.

Этот показатель характеризует потенциально возможную поглотительную способность торфа. Данные опытов показывают наличие закономерной зависимости величины обменного поглощения от степени разложения, с ростом которой увеличивается содержание гуминовых кислот и, естественно, количество кислых ионообменных групп.

У верховых торфов емкость обменного и актуального поглощения высокая за счет повышенного содержания органических, уроновых кислот, свободных аминокислот и других кислых соединений.

Одно из важнейших свойств торфяных сорбентов – их избирательность, то есть возможность разделения ионов и их концентрирование. Мерой избирательности служит величина константы обмена. Чем выше эта величина, тем эффективнее протекает процесс ионообменного разделения. Константа обмена торфа составляет: на щелочные металлы 10^{-3}; на щелочноземельные – 10^{-2}; на цветные – 10^{-1}; на ионы меди > 1.

Таким образом, характерной особенностью торфа является повышенное сродство к ионам цветных металлов – меди, цинку, кобальту, никелю.

Порядок избирательности одновалентных ионов металлов соответствует ряду: Ag > Te > Cs > K > Na > Li.

В случае щелочных и щелочноземельных металлов ряды избирательности: Ba > Sr > Ca > Mg и Li > Na > K > Cs.

Эффективность очистки торфом сточных вод от тяжелых металлов составляет 95–100%[30].

[30] Терентьев А.А., Суворов В.И. Исследование структуры торфа. – Минск: Наука и техника, 1980. – 92 с.

Очистка сточных вод от патогенной микрофлоры

Хозяйственно-бытовые сточные воды, как правило, загрязнены патогенной микрофлорой. Попадая в торфяное тело очистного сооружения, патогенные микроорганизмы подвергаются мощному воздействию за счет физико-химических реакций (кислая среда, наличие уксусной, щавелевой, молочной и других кислот), а также активного воздействия аборигенной микрофлоры (содержание таких микроорганизмов в естественных видах торфа составляет 10^6–10^8 клеток/г с. в.)[31]. Аналогично ведут себя бактерии из рода *Pseudomonas* – участвуют в разложении органических соединений. Так же ведут себя бактерии семейства *Bacillacefe* и *Azotobacteriaceal*. Кроме палочковидных бактерий со жгутиками и ресничками в торфе встречаются бактерии с фимбриями и толстыми придатками. Довольно распространены нитевидные и ленточные формы бактерий (классы *Chlatydobacterialts* и *Beggiatoales*). Звездообразные организмы в торфе являются сосущими инфузориями (*Suctoria*), которые являются хищниками; прикрепляясь к бактериальным клеткам, «звезда» высасывает их содержимое.

Все это многообразие аборигенных торфяных микроорганизмов обеспечивает полное уничтожение привносимых патогенов в процессе движения сточных вод в торфяном теле очистного сооружения, т. е. оказывается способным обеспечивать эффективность очистки до 100%.

Эффективность очистки сточных вод от патогенной микрофлоры подтверждается прямыми полевыми исследованиями, выполненными в Калининском политехническом институте[32]. Объектом изучения являлись процессы взаимодействия концентрированных свиноводческих сточных вод с осушенной торфяной залежью. Расход сточных вод составлял от 1,0 до 2,0 тыс. м^3 на 1 га болота.

Отмечено, что после поступления стоков резко увеличивается количество бактерий в торфяном субстрате. Например, общее микробиологическое число (микробных тел в 1 г) на глубине 1 м составило: до выпуска в торф сточных вод – 51,2 тыс., после выпуска через 1,5 мес. – 83, через 3,0 мес. – 114, через 4,5 мес. – 880 и после 8 мес. – 44 тыс.

Таким образом, установлено, что микробиологическое сообщество торфа (в основном аэробной природы) активно реагирует на привнесенную извне патогенную микрофлору, уничтожает ее, а после периода активизации происходит спад их численности до фонового уровня, что свидетельствует о завершении процесса самоочищения.

[31] Лукиных Н.А. Очистка сточных вод, содержащих синтетические поверхностно-активные вещества. – М.: Стройиздат, 1972.

[32] Освоение выработанных торфяных месторождений / Р.А. Крупнов, Д.А. Смирнова, Н.П. Перов и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 55 с.

Исследования показали, что эффективность очистки сильнозагрязненных сточных вод в торфяной залежи не зависит от предварительного обеззараживания, например ультразвуком, ультрафиолетом, озонированием. Процесс очистки протекает круглосуточно в течение года при любой температуре и величине снежного покрова, поскольку процессы протекают не на поверхности очистного сооружения, а в объеме торфяной залежи, где под слоем промерзшего торфа сохраняются стабильные положительные температуры. Результаты экспериментальных исследований показали, что эффект очистки по колли-индексу приближался к 100%.

Очистка бытовых сточных вод от анионоактивных ПАВ (АПАВ)

АПАВ – органические соединения, молекулы которых имеют дифильное строение, т. е. содержат гидрофильные и гидрофобные атомные группы. Первые обеспечивают растворимость ПАВ в воде, вторые (обычно углеводородные) при достаточно высокой молекулярной массе способствуют растворению ПАВ в неполярных жидкостях. К ним относят соли карбоновых кислот (жирных, смоляных, алкенилянтарных и др.), алкилсульфаты, алкилсульфонаты и др.

Для ионного обмена на торфе первостепенное значение имеют гуминовые кислоты и фульвокислоты, легкогидролизуемые вещества (уроновые кислоты) и в некоторой степени лигнин. Вследствие диссоциации функциональных групп торфа и перехода ионов во внутриассоциатный раствор каркас (матрица) торфяной частицы заряжается преимущественно отрицательно. По сути, образуется гигантский анион, состоящий из множества элементарных связанных атомов, которые термодинамически равномерно располагаются по всему объему частицы. Противоионы находятся внутри частицы в динамическом равновесии со связанными анионами. Это существенно отличает частицы торфа от минеральных и почвенных частиц.

У АПАВ фиксированным ионом являются группы с положительным зарядом, а противоион имеет отрицательный заряд. Таким образом, наличие в торфе карбоксильных групп обеспечивает протекание катионного обмена, а аминогруппы обусловливают анионный обмен. Отсюда следует, что торф способен к «улавливанию» как АПАВ, так и КПАВ, НПАВ. Эффективность очистки торфом сточных вод от СПАВ составляет 95–100%.

3.5.5. Ресурсоемкость применяемой технологии

Оценка эффективности работы различных очистных сооружений применительно к условиям их функционирования в ХМАО-Югре дана путем сравнения типовой установки БИО-100 и КОС на осушенном участке торфяной залежи по предлагаемой технологии.

Общая характеристика и технико-экономические показатели типовой установки БИО-100 и опытно-промышленной технологии очистки сточных вод малых населенных пунктов на территории ХМАО-Югры с использованием осушенных участков торфяных залежей (КОС) представлены в табл. 41.

Таблица 41

Технико-экономические показатели установки БИО-100 и КОС

Основные показатели	Ед. изм.	КОС	БИО-100
Сметная стоимость СМР в ценах 2008 г.		2263,5	7653,8
Затраты на оплату труда		68,2	26,1
ИТОГО		2331,7	7679,9
Производительность,	м^3/сут	85	100
Объем очищаемых стоков за год	тыс. м^3/год	30,96	36,50
Общая масса технологических емкостей	т	63,4	14,4
Потребляемая мощность электроэнергии:			
средняя	кВт	–	4
максимальная	кВт	–	4,6
Занимаемая площадь	м^2	20 008	130
Трудозатраты на обслуживание	ч-см/сут	0,04	0,4
	руб./год	14,4	144
Потребность в расходных материалах:			
щебень доломитовый для связывания фосфатов	т	–	100
Фильтрующие мешки для обезвоживания осадка, шт/год (для варианта с обезвоживанием осадка)	шт/год	–	200
Раствор гипохлорита натрия для обеззараживания сточных вод 20%-ный	л/год	–	260

Стоимость строительства КОС на участке торфяной залежи, по данным предварительных расчетов, составляет 2331,7 тыс. рублей. В том числе: материалы – 2202,3 тыс. руб.; СМР – 129,4 тыс. руб. Для БИО-100 эти затраты составили 7680 тыс. руб.

Экономия средств на стадии строительства составляет 5348 тыс. руб.

Удельные капитальные затраты на 1 м^3 очищенных стоков при сроке эксплуатации 20 лет составляют для КОС – 3,72 руб./м^3, а для БИО-100 – 10,52 руб./м^3.

Таким образом, опытно-промышленная технология очистки сточных вод малых населенных пунктов на территории ХМАО-Югры с использованием осушенных участков торфяных залежей (КОС) снижает капи-

тальные затраты на организацию (строительство) очистного сооружения по сравнению с традиционными методами, уменьшает эксплуатационные расходы на обслуживание, не требует потребления электрической энергии, сберегает минеральные ресурсы. При этом КОС на участке торфяного болота выполняет все функции сооружений по очистке хозяйственно-бытовых сточных типовых вод от взвешенных и растворенных веществ, эмульсий, ПАВ, патогенной микрофлоры.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Ханты-Мансийский автономный округ является крупнейшим регионом не только по добыче и транспортировке нефти, но и по запасам торфа.

Территориальное сочетание таких стратегических ресурсов накладывает определенную специфику в области рационального недропользования и охраны окружающей среды. К сожалению, торфяным ресурсам в технико-экономической политике района отводится второстепенная роль. Нефтедобывающий бизнес рассматривает торфяные болота как сдерживающий, затрудняющий фактор ведения хозяйственной деятельности и ограничивает свою активность в сфере торфопользования проведением необходимых строительных работ (выторфовка под строительство дорог, кустовых площадок, прокладка трубопроводов). Практически отсутствует сколь-нибудь различимый торфяной бизнес, возникают проблемы соблюдения законодательно-правовой ответственности, отсутствует механизм управления и стратегии развития торфяного бизнеса.

Специфика территории ХМАО-Югры заключается также и в природно-климатических особенностях, которые существенно отличаются от других регионов, где традиционно велась или ведется в настоящее время добыча и переработка торфа. Попытки использования таких технологий добычи фрезерного, кускового торфа показали практически их полную несостоятельность, прежде всего в экономическом плане, и неэффективность в технологическом отношении. Существенные затраты на осушение и болотно-подготовительные работы, необходимость приобретения дорогостоящей специальной техники и машин по импорту, отсутствие инженерных кадров полевого звена приводит к высоким рискам инвестиционных вложений, неоправданно длительным срокам окупаемости капитальных вложений, низкой рентабельности и высоким эксплуатационным расходам. Сезонность добычи торфа в полевых условиях на территории ХМАО-Югры оказалась главным тормозящим фактором: очень короткие сроки летнего периода, обеспечивающего радиационно-конвективную сушку торфа в полевых условиях, низкие сезонные сборы (тонн кондиционного торфа с 1 га площади), длительный простой машин и оборудования в межсезонный период (9–10 мес.), нестабильность занятости трудового персонала и т. п.

Несмотря на указанные сложные проблемы освоения торфяных ресурсов ХМАО-Югры, интерес к ним не ослабевает со стороны ученых, инженеров, специализирующихся в торфяном деле. Только за последние 10–15 лет представителями разичных организаций, отдельными специалистами выполнен целый ряд исследований и научно-технических разработок в области торфопользования в регионе. Здесь следует назвать такие

организации, как ВНИИ торфяной промышленности (г. Санкт-Петербург), Восточно-Европейский институт торфяного дела – Инсторф Тверского государственного технического университета (г. Тверь), СибНИПИРП (г. Нижневартовск) и др.

Результаты выполненных НИР и НИОКР по заказу административных органов управления округа, частных инвесторов позволили установить и оценить целый ряд проблемных вопросов, связанных:

– с геологической изученностью торфяных болот;
– разработкой торфяного фонда ХМАО-Югры;
– нормативно-правовой основой торфопользования в свете законодательных актов РФ;
– отработкой новых технологий добычи и переработки торфа;
– выделением целевых торфяных фондов;
– использованием отечественной техники, машин и агрегатов на добыче и переработке торфа;
– разработкой документации на отдельные виды продукции (технические условия) и патентов РФ на способы добычи торфа, его переработки в цеховых условиях, рекультивации и восстановления нефтезагрязненных территорий торфяных болот, очисткой хозяйственно-бытовых сточных вод малых населенных поселений ХМАО-Югры на подготовленных участках торфяных месторождений.

Различная по источникам финансирования поддержка таких работ привела к значимым результатам не только в научном плане (статьи, патенты, монографии, «круглые столы», конференции, защита диссертаций), но и практическом (предпроектная и проектная документация, технические условия на производство отдельных видов продукции, патенты РФ, утилизация амбарных нефтешламов, использование попутного газа). Это послужит основанием формирования нового технологического уклада развития торфяной отрасли не только ХМАО-Югры, но и ряда других регионов.

Суть таких инноваций достаточно проста:

– всесезонность добычи торфа на всю глубину залежи;
– практическая независимость добычи сырья от погодных условий;
– минимально возможные затраты на осушение и подготовку производственных площадей;
– круглогодичное производство торфяной продукции в цеховых условиях;
– достижимое и стабильное качество получаемой товарной продукции различного назначения;
– утилизация целого ряда отходов производства и потребления совместно с торфом.

Сопутствующие эффекты также очевидны:

– заполнение обширных сегментов местных и внешних рынков потребления торфяной продукции;
– развитие товаропроизводящего сектора экономики региона;
– реализация продукции и поступление средств в бюджеты разного уровня;
– повышение занятости населения, организация новых рабочих мест, закрепление инженерных и квалифицированных кадров;
– привлечение инвестиций для развития торфяного бизнеса и др.

В настоящей монографии принята попытка обобщения накопленного многолетнего опыта работ по узловым проблемам развития, становления торфяной отрасли в ХМАО-Югре. Основное внимание авторов было сконцентрировано на решении актуальных для ХМАО-Югры вопросов научно-технического характера:

– производство коммунально-бытового топлива в цеховых условиях;
– производство теплоизоляционных плит и гранулированных засыпных строительных материалов;
– производство торфа для целей рекультивации и восстановления нефтезагрязненных торфяных болот;
– производство торфяных грунтов для целей рекультивации и обустройства открытых искусственных сооружений (насыпные дороги, дамбы, переезды и т. п.);
– отработку технологии ликвидации последствий аварийных разливов нефти на торфяные болота с помощью торфяных засыпок;
– отработку технологии очистки сточных вод малых населенных пунктов на специально подготовленных участках торфяных болот.

Ханты-Мансийский автономный округ может и должен стать ведущим регионом РФ по инновационному развитию торфяной промышленности, показать пример в решении комплекса вопросов организационного, управленческого, технологического, экономического и инвестиционного плана, заявить о себе не только как нефтедонор, но и как рациональный и эффективный торфопользователь, консолидировать усилия сообщества ученых и специалистов России, подготовить собственные высококвалифицированные кадры.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОСВЯЩЕНИЕ 3

ПРЕДИСЛОВИЕ 4

1. ПОЛУЧЕНИЕ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ТОРФА 6
   1.1. Особенности инноваций в торфяной отрасли 6
   1.2. Малая теплоэнергетика 9
   1.3. Малая теплоэнергетика Тверской области 11
   1.4. Малая теплоэнергетика ХМАО-Югры 13
   1.5. Особенности торфопользования в ХМАО-Югре 15
   1.6. Рынок торфяной продукции в округе 21
   1.7. Торфяные ресурсы округа – потенциальная сырьевая база 23
   1.8. Инновационные технологии в малой теплоэнергетике 28
   1.9. Теплоизоляционные материалы на основе торфа 32
   1.10. Плитные теплоизоляционные материалы – «Торфоизол» 36
   1.11. Гранулированные теплоизоляционные засыпки – «Торфозит» 37
   1.12. Технология производства рассыпной продукции на основе торфа 43

2. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ 45
   2.1. Постановка проблемы 45
   2.2. Нефтезагрязнение земель в ХМАО-Югре 46
   2.3. Нормативная база по оценке загрязнения 50
   2.4. Опыт рекультивации нефтезагрязненных земель в ХМАО-Югре 52
   2.5. Обоснование способа рекультивации и восстановления нефтезагрязненных болот с использованием торфяных засыпок 62
      2.5.1. Основное содержание новой технологии 62
      2.5.2. Микробиология торфяных отложений 63

      2.5.3. Лабораторные исследования динамики нефтесодержания в торфе естественной влажности под воздействием торфяной засыпки 65
      2.5.4. Полевые исследования процессов восстановления нефтезагрязненных болотных экосистем с использованием торфяных засыпок 67
      2.5.5. Динамика микрофлоры 74
      2.5.6. Динамика нефтесодержания 84
      2.5.7. Пороговые концентрации нефти в деятельном слое торфяной залежи 92
      2.5.8. Обоснование качественных характеристик торфа для засыпки 97
      2.5.9. Природоохранные мероприятия по локализации нефтезагрязнений на торфяном болоте 98
      2.5.10. Рекомендации по экологическому мониторингу процесса восстановления нефтезагрязненных болот 99
      2.5.11. Критерии эффективности всесезонной технологии рекультивации нефтезагрязненных торфяных болот 100

3. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ НА ПОДГОТОВЛЕННЫХ УЧАСТКАХ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ 104
   3.1. Введение 104
   3.2. О возможности использования торфяных болот для очистки сточных вод 107
   3.3. Опыт эксплуатации очистных сооружений на болоте 111
   3.4. Результаты полевого эксперимента очистки сточных вод на естественном торфяном болоте 114
   3.5. Общая характеристика опытно-промышленной технологии очистки сточных вод на подготовленном участке торфяной залежи 122
      3.5.1. Природно-климатические и техногенные особенности 122

3.5.2. Характеристика хозяйственно-бытовых сточных вод 124
3.5.3. Технологические основы очистки сточных вод на подготовленном участке торфяной залежи 126
3.5.4. Эффективность работы очистного сооружения 137
3.5.5. Ресурсоемкость применяемой технологии 142

ПОСЛЕСЛОВИЕ 145

Суворов В.И., Женихов Ю.Н., Панов В.В.,
Лопатин К.И., Толстограй В.И., Юсупов И.А.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА И БОЛОТ

ООО «Издательство «Триада». ИД № 06059 от 16.10.01 г.
170034, г. Тверь, пр. Чайковского, 9, оф. 504.
Тел./факс: (4822) 42-90-22, 35-41-30.
E-mail: triada@stels.tver.ru
http://www.triada.tver.ru

Подписано к печати 19.04.12. Формат бумаги 60×84 $^{1}/_{16}$.
Бумага офсетная. Усл. печ. листов 9,5. Тираж 500 экз.

Заказ № 748.

Отпечатано в филиале ОАО «ТОТ» Ржевская типография.
г. Ржев, ул. Урицкого, д. 91

Рис. 11. Откачка нефти из верхнего слоя болота

Рис. 12. Фрезерование загрязненных нефтью участков болот

Рис. 13. Участок верхового сфагново-кустарничкового сообщества через 8 лет

Рис. 17. Полевой эксперимент по засыпке торфом нефтезагрязненных площадок: вверху – выбранная площадь; в средней части – площадки с нефтяным загрязнением; внизу – выполнение засыпок из подсушенного торфа. Слева внизу – общий план; справа – отдельная площадка размером 1 × 1 м

Рис. 18. Зарастание площадки четырехлетней давности

Рис. 25. Подготовка образцов: слева – образец, вырезанный из залежи; справа – образец, загруженный в эксикатор

Рис. 26. Нефтяная заливка при низком УВ: слева – вид сверху на образец с заливкой нефти 10 л/м^2; справа – вид на тот же образец через стенки эксикатора